

TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

La estructura metapoblacional de *Triatoma infestans* en Los Llanos Riojanos y su implicancia para el control vectorial

por

Bióloga María José Cavallo



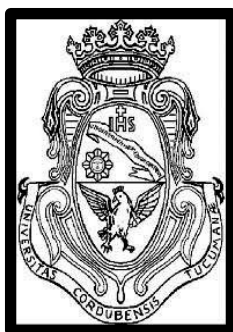
Director: Dr. David Gorla



Directora Asociada: Dra. Ivana Amelotti



CRILAR- CONICET



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Córdoba, Argentina

Febrero 2019

COMISIÓN ASESORA

Nombre y Apellido: Gorla, David E. Lugar de Trabajo: IDEA- CONICET - UNC

Nombre y Apellido: Visintin, Andrés M. Lugar de Trabajo: FCEFyN - UNC; UNLAR

Nombre y Apellido: Carbajo, Aníbal E. Lugar de Trabajo: IIIA – UNSAM - CONICET

DEFENSA ORAL Y PÚBLICA

Lugar y Fecha:

Calificación:

TRIBUNAL

Firma: Aclaración:

Firma: Aclaración:

Firma: Aclaración:

A mi mamá

“...TE ADMIRO MUJER

PORQUE DAS ABRIGO

PORQUE SOY TESTIGO DE TU FORTALEZA

TU NATURALEZA PARA DARLO TODO....

**MUJER QUE NO TE RINDES
MUJER QUE VA ADELANTE...”**

Paz Martínez

La verdad es dura, la verdad es incómoda y a menudo la verdad duele...

Sin embargo, si no estás preparado para seguir buscando

la luz en los lugares más oscuros,

incluso en los momentos que parezca imposible,

jamás tendrás éxito...



AGRADECIMIENTOS

Al Dr David Gorla y la Dra. Ivana Amelotti, Director y Directora Asociada de esta Tesis. Gracias David e Ivana por sus aportes en esta investigación, revisiones, críticas y sugerencias para el análisis e interpretación de los resultados.

Al Dr. Andrés Visintin y al Dr. Anibal Carbajo, por sus sugerencias durante las reuniones anuales que me permitieron cumplir con los objetivos propuestos en este trabajo. A la Dra. María Sol Gaspe, por su disposición para integrar el Tribunal de Tesis Doctoral.

Al grupo de “Entomología Médica del CRILAR”, por su colaboración en las tareas de laboratorio y recomendaciones a lo largo de estos años. A Luciana e Ivana, por el trabajo diario y conjunto que nos permite seguir soñando con una Argentina sin Chagas.

Al personal del Programa Provincial de Chagas La Rioja, por brindarme sus registros de evaluación entomológica y por sus aportes en las colectas de campo, especialmente al Sr. Eduardo Gallardo.

A la Dra. Verónica Valentinuzzi, por colaborar con el grupo de Entomología.

A todos los que me acompañaron en las salidas de campo y me ayudaron en los análisis de *T. cruzi* en el laboratorio. A Miguel y su memoria “referencista”, sin él no habría podido llevar a cabo la ardua tarea de realizar los muestreos en “terrenos inhóspitos”.

A los propietarios de las viviendas de Los Llanos, por recibirme amablemente, escuchar mis sugerencias, colaborar en la colecta de triatomíneos y enseñarme sus costumbres riojanas.

A David y Silvia, por recibirme en su casa el día que llegué a Anillaco.

A todos mis amigos del CRILAR y el grupo de autoayuda, por compartir mates, asados y tardes en la soledad anillaquense. A mis compañeros de gabinete: Viki, Marcos, Seba y Lea, por tantas horas de trabajo compartidas y por escuchar mi estilo musical. A Marcos, Viki y su familia, por todos los momentos vividos, viernes de pizzas y tardes en la plaza que quedarán para siempre en mi memoria. A Caro y Matheus, por hacerme sentir en familia en estos años. A Gaby, Juli y Agus, por compartir cenas, charlas y hogar. Me encanta saber que cuento con ustedes siempre!.

A mi familia, un agradecimiento especial, por estar conmigo en cada paso y darme ánimos para seguir adelante.

A todas las personas que de alguna u otra forma colaboraron en la realización de esta Investigación y las publicaciones originadas de la misma, por sumar con estos trabajos un nuevo aporte en la lucha contra la enfermedad de Chagas.

LISTADO DE PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

CAVALLO, M. J., AMELOTTI, I. & GORLA, D. E. 2016. Invasion of rural houses by wild Triatominae in the arid Chaco. *Journal of Vector Ecology*. 41(1): 97-102. <https://doi.org/10.1111/jvec.12199>.

CAVALLO, M. J., AMELOTTI, I., ABRAHAN, L., CUETO, G. & GORLA, D. E. 2018. Rural houses infestation by *Triatoma infestans* in northwestern Argentina: Vector control in a high spatial heterogeneous infestation area. *PloS ONE*. 13(8): e0201391. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391>.

OTRAS PUBLICACIONES DURANTE EL DESARROLLO DE LA TESIS

AMELOTTI, I., HERNÁNDEZ, M. L., ABRAHAN, L., CAVALLO, M. J. & CATALÁ, S. 2016. Alfabetización científica en el ámbito preescolar: primeros conocimientos como herramientas para la promoción de la salud y la prevención de la Enfermedad de Chagas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 13 (1): 192-202. <http://hdl.handle.net/10498/18023>.

ABRAHAN, L., LOPEZ, P., AMELOTTI, I., CAVALLO, M. J., STARIOLO, R., CATALÁ, S., CUETO, G. & VALENTINUZZI, V. 2018. Activity levels of female *Triatoma infestans* change depending on physiological condition. *Parasites & Vectors*. 11(1): 534. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3117-9>.

Esta tesis ha sido financiada por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, PICT 1109-2012 y por CONICET.

Índice

RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
CAPÍTULO I.....	15
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	15
La Enfermedad de Chagas.....	15
Principales características de <i>Triatoma infestans</i>	18
Control de las poblaciones de <i>T. infestans</i> en relación al área de estudio.....	20
Teoría de metapoblaciones y su relación con la infestación por <i>T. infestans</i>	23
Objetivos.....	24
Hipótesis.....	25
CAPÍTULO II.....	28
METODOLOGÍA GENERAL.....	28
Área de estudio.....	28
Selección de las unidades muestrales.....	30
Identificación y georeferenciación de Viviendas Nuevas.....	30
Caracterización de Viviendas Nuevas.....	31
Selección de las viviendas para el estudio.....	33
Evaluación entomológica de las viviendas.....	36
Método de colecta pasiva de <i>T. infestans</i>	37
Método de colecta activa de <i>T. infestans</i>	41
Tratamiento químico de las viviendas incluidas en el estudio.....	43
Análisis de datos.....	43
CAPÍTULO III.....	49
ACTUALIZACIÓN DE LA INFESTACIÓN POR <i>TRITATOMA INFESTANS</i> EN LOS LLANOS RIOJANOS.....	49
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	49
METODOLOGÍA.....	53
Datos de infestación estimados por diferentes métodos de colecta.....	53
A) Datos de infestación por <i>T. infestans</i> en el sur de la Rioja estimados a partir de los registros del Programa Provincial de Chagas de La Rioja (período de evaluación 2005-2015).....	53
B) Datos de infestación estimados a partir de la colecta de <i>T. infestans</i> por la comunidad (colecta pasiva, período de evaluación 2014-2017).....	54
C) Datos de infestación estimados por colecta activa (período de evaluación 2015-2016).....	55
Estimación de infección por <i>T. cruzi</i> en <i>T. infestans</i>	56
RESULTADOS.....	57
Reseña de la infestación en Los Llanos según los registros del Programa Provincial de Chagas de La Rioja (período de evaluación 2005-2015).....	57
Datos de infestación estimados a partir de la colecta de <i>T. infestans</i> por la comunidad (colecta pasiva, período de evaluación 2014-2017).....	62
Datos de infestación estimados por colecta activa (período de evaluación 2015-2016).....	73
Datos de infección natural por <i>T. cruzi</i>	78
ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS.....	79
CAPÍTULO IV.....	83
IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A LA INFESTACIÓN POR <i>TRITATOMA INFESTANS</i>	83
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	83
METODOLOGÍA.....	87
Enfoque estadístico utilizado para el análisis.....	87

Análisis de la infestación por <i>T. infestans</i> a escala de Unidad Domiciliaria.....	88
Análisis de la infestación por <i>T. infestans</i> a escala de Localidad.....	98
Análisis de la infestación por <i>T. infestans</i> a escala Temporal y Espacial (período 2014-2017)	
.....	103
RESULTADOS.....	106
Características de las variables en estudio.....	106
Análisis de variables a escala de Unidad Domiciliaria.....	110
Análisis de variables a escala de Localidad.....	117
Análisis de la infestación por <i>T. infestans</i> a escala Temporal y Espacial (período 2014-2017)	
.....	123
ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS.....	127
CAPÍTULO V.....	133
TEORÍA DE METAPOBLACIONES Y SU RELACIÓN CON LA INFESTACIÓN POR	
<i>TRIATOMA INFESTANS</i>	133
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	133
METODOLOGÍA.....	137
Determinación del sistema metapoblacional en estudio.....	137
Análisis de datos.....	141
RESULTADOS.....	145
Ocupación de los parches.....	145
Transición del estado del parche en el tiempo $t1$ al tiempo $t + 1$ entre muestreos consecutivos	
.....	147
Dinámica de los parches en el tiempo.....	149
Modelado de la variable respuesta: Ocupación de los parches por <i>T. infestans</i>	152
ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS.....	157
CAPÍTULO VI.....	160
INVASIÓN DE VIVIENDAS POR TRIATOMINOS SILVESTRES.....	160
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	160
METODOLOGÍA.....	164
Infestación de las viviendas por especies silvestres estimada a partir de la colecta pasiva (período	
de evaluación 2014-2017).....	164
Viviendas incluidas en el estudio y tipo de colecta de datos.....	164
Análisis de datos de especies silvestres.....	164
Relación entre la infestación de las viviendas y la cobertura vegetal.....	165
RESULTADOS.....	166
Análisis de datos de especies silvestres.....	166
Relación entre la infestación de las viviendas y la cobertura vegetal.....	171
ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS.....	174
CAPÍTULO VII.....	178
DISCUSIÓN GENERAL.....	178
MATERIAL SUPLEMENTARIO.....	187
TABLAS ANEXAS.....	187
CAPÍTULO III.....	187
CAPÍTULO IV.....	191
CAPÍTULO V.....	203
CAPÍTULO VI.....	204
FIGURAS ANEXAS.....	205
CAPÍTULO IV.....	205
CAPÍTULO VII.....	207
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	211

Índice de Tablas

Tabla 2.A. Número de viviendas en el área de estudio.....	34
Tabla 2.B. Número de viviendas evaluadas por muestreo.....	36
Tabla 3.A. Infestación por <i>T. infestans</i> en el área de estudio (datos del PPCHLR).....	61
Tabla 3.B. Comparación de la infestación por <i>T. infestans</i> (datos del PPCHLR).....	62
Tabla 3.C. Abundancia de <i>T. infestans</i> por método de colecta pasiva.....	65
Tabla 3.D. Frecuencia de Viviendas Nuevas con infestación y colonización por <i>T. infestans</i>	72
Tabla 3.E. Infestación y colonización por <i>T. infestans</i> por Tipología de Vivienda.....	72
Tabla 3.F. Tabla de contingencia (infestación por colecta pasiva vs activa, 2015).....	74
Tabla 3.G. Tabla de contingencia (colonización en el intradomicilio por colecta pasiva vs activa, 2015).....	74
Tabla 3.H. Estadísticas comparativas de infestación y colonización por colecta pasiva vs activa, 2016.....	76
Tabla 3.I. Sitio de colecta y abundancia de <i>T. infestans</i> por colecta activa.....	77
Tabla 3.J. Datos de <i>T. infestans</i> infectado con <i>Tripanosoma cruzi</i>	78
Tabla 4.A. Variables definidas en la Unidad Domiciliaria.....	89
Tabla 4.B. Variables definidas en la Localidad.....	99
Tabla 4.C. Variables definidas para el análisis Temporal y Espacial.....	104
Tabla 4.D. Frecuencia de variables cualitativas.....	106
Tabla 4.E. Estado de la vivienda post Tratamiento Químico.....	109
Tabla 4.F. Estado en el intradomicilio a los 2 meses post Tratamiento Químico.....	110
Tabla 4.G. Modelos de referencia (escala: Unidad Domiciliaria).....	111
Tabla 4.H. Modelos con mejor desempeño y orden de selección (escala: Unidad Domiciliaria)....	112
Tabla 4.I. Intervalo de confianza (escala: Unidad Domiciliaria).....	114
Tabla 4.J. Modelos de referencia (escala: Localidad).....	118
Tabla 4.K. Modelos con mejor desempeño y orden de selección (escala: Localidad).....	119
Tabla 4.L. Intervalo de confianza (escala: Localidad).....	121
Tabla 4.M. Resultados del modelo GEE (escala: Temporal y Espacial).....	124
Tabla 4.N. Coeficiente del modelo GEE (escala: Temporal y Espacial).....	125
Tabla 5.A. Calidad del parche.....	138
Tabla 5.B. Tamaño del parche.....	138
Tabla 5.C. Características de los parches.....	139
Tabla 5.D. Estado del parche desde el tiempo $t1$ al tiempo $t + 1$	142
Tabla 5.E. Transición del estado del parche entre el tiempo $t1$ al $t + 1$	142
Tabla 5.F. Variables definidas para el análisis de ocupación de parches.....	144
Tabla 5.G. Cobertura de evaluación según calidad del parche.....	146
Tabla 5.H. Ocupación de los parches por <i>T. infestans</i> según su calidad.....	147
Tabla 5.I. Coeficientes del modelo GEE1 en el análisis de ocupación de parches.....	154
Tabla 5.J. Coeficientes del modelo GEE6 en el análisis de ocupación de parches.....	155
Tabla 6.A. Relación entre las viviendas donde se colectó <i>T. infestans</i> y especies silvestres.....	168
Tabla 6.B. Datos de especie silvestre durante el año 1 de colecta.....	169
Tabla 6.C. Datos de especie silvestre durante el año 2 de colecta.....	170
Tabla 6.D. Datos de especie silvestre durante el año 3 de colecta.....	171
Tabla 6.E. Abundancia de <i>T. guasayana</i> y <i>T. garciabesi</i>	172

Índice de Figuras

Figura 1.A. Ciclo biológico de <i>Trypanosoma cruzi</i>	16
Figura 1.B. Ciclo de vida de <i>Triatoma infestans</i>	19
Figura 2.A. Departamentos de Los Llanos (sur de La Rioja).....	30
Figura 2.B. Esquema de la Vivienda Nueva.....	32
Figura 2.C. Área de estudio.....	35
Figura 2.D. Material utilizado para la capacitación al grupo familiar.....	38
Figura 2.E. Capacitación al grupo familiar y alumnos.....	39
Figura 2.F. Método de colecta pasiva.....	40
Figura 2.G. Método de colecta activa.....	42
Figura 2.H. Deyecciones de <i>Triatoma infestans</i>	42
Figura 2.I. Infestación Intradomiciliaria.....	45
Figura 2.J. Infestación Peridomiciliaria.....	46
Figura 2.K. Actividades en laboratorio.....	47
Figura 3.A. Infestación Intradomiciliaria y cobertura de evaluación (datos del PPCHLR, 2005-2015).....	58
Figura 3.B. Infestación Peridomiciliaria (datos del PPCHLR, 2005-2015).....	59
Figura 3.C. Número de viviendas en las que se recuperó la bolsa de colecta.....	63
Figura 3.D. Infestación y colonización en el intradomicilio por <i>T. infestans</i> (2014-2017).....	64
Figura 3.E. Infestación de <i>T. infestans</i> por Departamento (2014-2017).....	66
Figura 3.F. Infestación de <i>T. infestans</i> por Localidad (2014-2017).....	69
Figura 3.G. Distribución espacial de los cluster de baja y alta infestación (2016-2017).....	70
Figura 3.H. Infestación según la Tipología de vivienda (2014-2017).....	73
Figura 4.A. Características Físicas de la Vivienda.....	91
Figura 4.B. Estructuras peridomiciliarias en el área de estudio.....	93
Figura 4.C. Control Químico de la vivienda por personal del PPCHLR.....	95
Figura 4.D. Estructuras asociadas a las viviendas.....	107
Figura 4.E. Correlación entre las variables en estudio.....	108
Figura 4.F. Representación gráfica de los principales resultados a escala de Unidad Domiciliaria.....	116
Figura 4.G. Representación gráfica de los principales resultados a escala de Localidad.....	122
Figura 4.H. Análisis de infestación por Año según el Departamento.....	126
Figura 5.A. Ubicación geográfica de los parches según su calidad en el área de estudio.....	140
Figura 5.B. Frecuencia relativa de los estados de los parches, en relación a su calidad.....	148
Figura 5.C. Dinámica de los parches en el tiempo $t1$ a $t + 1$	150
Figura 5.D. Cantidad de parches con Extinción.....	151
Figura 5.E. Cantidad de parches con Colonización.....	152
Figura 6.A. Especies colectadas en el área de estudio (por colecta pasiva).....	166
Figura 6.B. Localización de <i>T. guasayana</i> y <i>T. garciabesi</i>	173

Índice de Material Suplementario

Tabla Anexa 3.A. Infestación y colonización por <i>T. infestans</i> por Departamento.....	187
Tabla Anexa 3.B. Intervalo de confianza de infestación y colonización en el intradomicilio.....	188
Tabla Anexa 3.C. Cobertura de evaluación por método de colecta pasiva.....	189
Tabla Anexa 3.D. Comparación de la infestación por <i>T. infestans</i> por Tipología de Vivienda.....	190
Tabla Anexa 4.A. Infestación por <i>T. infestans</i> y Tratamiento Químico de las viviendas (Datos 2014-2015 del PPCHLR).....	191
Tabla Anexa 4.B. Lista de modelos (escala: Unidad Domiciliaria).....	192
Tabla Anexa 4.C; (a-f). Resultados de los modelos lineales mixtos generalizados (escala: Unidad Domiciliaria).....	193
Tabla Anexa 4.D. Lista de modelos (escala: Localidad).....	197
Tabla Anexa 4.E; (a-f). Resultados de los modelos lineales generalizados (escala: Localidad).....	198
Tabla Anexa 4.F; (a y b). Análisis de Contraste entre las variables explicativas por Año y Departamento.....	201
Tabla Anexa 5.A. Lista de modelos GEE (ocupación del parche).....	203
Tabla Anexa 5.B. Análisis de proporciones entre muestreos consecutivos.....	204
Tabla Anexa 6.A. Abundancia de especies silvestres.....	204
Figura Anexa 4.A. Material de construcción predominante de las estructuras del peridomicilio....	205
Figura Anexa 7.A. Falencias constructivas en las Viviendas Nuevas.....	207

RESUMEN

Triatoma infestans (Hemiptera: Reduviidae) es un insecto hematófago, vector del parásito *Trypanosoma cruzi*, agente etiológico de la Enfermedad de Chagas, considerada endémica de Argentina. En el sur de La Rioja, la persistente infestación por triatominos, fomentó que a partir del año 2008, se implementara un Programa de Erradicación de Ranchos y construcción de Viviendas Nuevas en la zona rural, con el objetivo de disminuir la infestación. Al analizar esta situación desde el contexto de la teoría de metapoblaciones, se considera que cada vivienda se comporta como un parche con distintos grados de calidad, en relación a la disponibilidad de refugios para *T. infestans*. De esta forma, las Viviendas Nuevas son consideradas de menor calidad comparadas con las Viviendas Rancho-Tradicionales. Los principales objetivos del presente trabajo fueron actualizar el estado de infestación en los Llanos riojanos, identificar los factores de riesgo asociados a la misma y evaluar la infestación en parches de diferente calidad y tamaño. El estudio se realizó analizando 397 viviendas con distintas Tipologías pertenecientes a los Departamentos Ángel Vicente Peñaloza, Rosario Vera Peñaloza y San Martín (Los Llanos, La Rioja) durante el período 2014-2017. Se realizaron muestreos pasivos y activos para estimar la infestación por *T. infestans* en los diferentes parches.

Los principales resultados mostraron heterogeneidad espacial respecto a la infestación por *T. infestans* en el área de estudio, siendo Rosario Vera Peñaloza y San Martín los Departamentos con mayor infestación. El análisis de factores de riesgo a través de un enfoque de inferencia multimodelo, permitió ponderar las variables con mayor impacto en la probabilidad de infestación. Se observó que la *Cantidad de Viviendas* y su condición entomológica influyen de manera directa en la infestación de la *Unidad Domiciliaria*. Otras variables, como *Cantidad de Estructuras Peridomésticas* y *Tipología de la Vivienda*, no mostraron efecto cuantificable sobre la probabilidad de infestación. Durante el período estudiado, se registraron cambios en el estado de colonización y extinción de los parches entre tiempos consecutivos, permitiendo evaluar la dinámica de infestación en el área. Se constató que parches de diferentes características, incluso los considerados de baja calidad y menor tamaño, se encontraban ocupados por *T. infestans*. Adicionalmente, se obtuvo un registro detallado de las especies, que junto a *T. infestans*, invaden los parches en estudio, siendo las más frecuentes *T. guasayana* y *T. garciabesi*. La integración de estos resultados, permitió evaluar el impacto de la construcción de Nuevas Viviendas y el control químico aplicado en el área, sobre la prevalencia de infestación por *T. infestans*, en un contexto metapoblacional.

ABSTRACT

Triatoma infestans (Hemiptera: Reduviidae) is a hematophagous insect, vector of the parasite *Trypanosoma cruzi*, etiological agent of Chagas disease, considered endemic in Argentina. In the south of La Rioja, as from 2008, the persistent infestation by triatomines, encouraged, a “Programe de Erradicación de Ranchos” and the construction of new housing in the rural area with the aim of reducing infestation. When analyzing this situation from the metapopulation theory context, it is considered that each dwelling behaves as a patch with different degrees of quality, in relation to the availability of shelters for *T. infestans*. In this way, the New Houses are considered of lower quality compared to the Traditional Houses. The main objectives of this study were to update the state of infestation in Los Llanos of La Rioja, to identify the risk factors associated with it and to evaluate the infestation in patches of different quality and size. The study was carried out analyzing 397 houses with different Typologies belonging to the Departments Ángel Vicente Peñaloza, Rosario Vera Peñaloza and San Martín (Los Llanos, La Rioja) during the period 2014-2017. Passive and active samplings were taken to estimate the infestation by *T. infestans* in the different patches.

The main results showed spatial heterogeneity with respect to infestation by *T. infestans* in the study area. Rosario Vera Peñaloza and San Martín were the Departments with the highest infestation. The analysis of risk factors through a multimodal inference approach allowed us to weigh the variables with the greatest impact on the probability of infestation. It was observed that the *Number of Houses* and their entomological condition directly influence the infestation of the House. Other variables, such as *Number of peridomestic Structures* and *Housing Typology*, showed no measurable effect on the probability of infestation. During the period studied, changes were recorded in the colonization and the extinction status of the patches between consecutive times, allowing the evaluation of the infestation dynamics in the area. It was found that patches of different characteristics, even those considered of low quality and smaller size, were occupied by *T. infestans*. Additionally, a detailed record of the species was obtained, which together with *T. infestans*, invade the patches under study, being *T. guasayana* and *T. garciabesi* the most frequent ones. The integration of these results, allowed us to evaluate the impact of the construction of New Houses and the chemical control applied in the area, on the prevalence of infestation by *T. infestans*, in a metapopulation context.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL



INTRODUCCIÓN GENERAL

La Enfermedad de Chagas

La enfermedad de Chagas es una zoonosis causada por el protozoo flagelado *Trypanosoma cruzi*. En el ciclo de transmisión de esta enfermedad participan hospedadores mamíferos e insectos hematófagos vectores de la subfamilia Triatominae (Hemiptera: Reduviidae). Se estima que 8 millones de personas están infectadas con *T. cruzi* en todo el mundo, principalmente en América Latina, donde la enfermedad de Chagas sigue siendo uno de los mayores problemas de salud pública (WHO 2018).

La forma de transmisión más frecuente es la vía vectorial, es decir, por el contacto de las deyecciones de insectos hemípteros hematófagos sobre la piel de su hospedador, luego de la alimentación. Otras formas de transmisión incluyen la transfusión de sangre infectada, la ingesta de parásitos (vía oral) y la infección durante la gestación (vía tras-placentaria). Los mecanismos secundarios de transmisión incluyen accidentes en laboratorios, mal manejo de animales infectados o trasplantes de órganos sin control previo (Wendel & Leiby 2007, Pereira et al. 2009). En las zonas rurales de América Latina, la principal vía de transmisión es vectorial, siendo *Triatoma infestans* el principal vector de *T. cruzi* en el cono sur (Schofield 1994). El ciclo completo de transmisión de *T. cruzi* por *T. infestans* incluye diferentes estadios del parásito. Este protozoo presenta diferentes formas según se encuentre en el insecto vector (epimastigotes y tripomastigotes metacíclicos), o en la sangre del mamífero hospedador (tripomastigotes y amastigotes) (Figura 1.A). En zonas urbanas y en países no endémicos, donde no es habitual la presencia de triatomíneos vectores, las principales vías de transmisión son la infección congénita y la transfusión de sangre parasitada (Wendel & Gonzaga 1993, Cusnalter et al. 2004, Murcia et al. 2013, Fumadó et al. 2014).

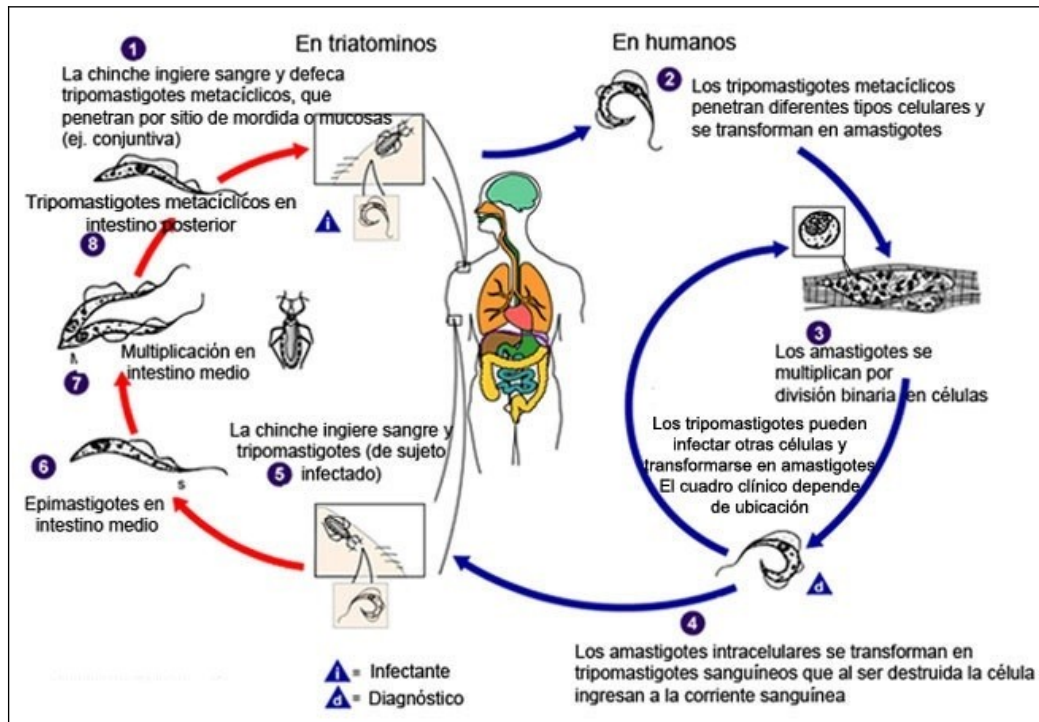


Figura 1.A. Ciclo biológico de *Trypanosoma cruzi*, en el insecto vector (triatominos) y en el hospedador mamífero (humano). Tomado de CDC (Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades, <https://www.cdc.gov/parasites/chagas/es/enfermedad.html>).

La infección congénita oscila entre el 0,7% y 18,2% de los casos de madres infectadas con *T. cruzi* en países latinoamericanos como Brasil, Argentina, Bolivia y Chile (Carlier & Truyens 2010). Sin embargo, entre los niños que nacen infectados pero reciben el tratamiento adecuado, se ha registrado un porcentaje de curación cercano al 100% de los casos. La transmisión por transfusión es de muy baja prevalencia y no siempre termina en una infección (en 13 a 18% de los casos) debido a la baja parasitemia en la fase crónica (Luquetti & Rassi 2000). En los países endémicos de América Latina el riesgo de infección por transfusión es casi nulo debido a la existencia de leyes que obligan al control de la sangre antes de ser transfundida, incluyendo el marcador de Chagas para verificar que cada muestra esté libre de *T. cruzi* (Schofield et al. 2006). El problema radica en los países no endémicos, en donde se produce la transmisión a través de trasplantes de órganos o donaciones de sangre de personas infectadas sin los controles correspondientes (principalmente en España, Estados Unidos, Canadá, Australia) (Schmunis 2007, Gascon et al. 2010).

La prevalencia de la enfermedad en países endémicos está dada por numerosos factores: densidad de *T. infestans* o triatomíneos (vectores), interacción insecto-humano y animales domésticos cerca de los domicilios (fuente de alimentación de triatomíneos). Esta variabilidad de factores generan un escenario complejo para diseñar políticas públicas que eviten nuevos pacientes infectados por *T. cruzi*. Por tal motivo, para controlar la enfermedad de Chagas, fue necesario desarrollar una estrategia de cooperación técnica entre varios países. En 1991 la iniciativa del Cono Sur elaboró un programa internacional con el objetivo de: 1) eliminar *T. infestans* de las viviendas y los peridomicilios; 2) reducir y eliminar la infección por transfusión sanguínea; 3) fomentar la vigilancia coordinada por el sistema de salud, acompañada de capacitaciones a agentes sanitarios, docentes, médicos, enfermeras y la propia comunidad. Este modelo de trabajo sirvió para lograr la certificación de la eliminación de transmisión vectorial en **Uruguay** (1997, re-certificación en 2012), **Chile** (1999, 2016), **Argentina** (entre 2001-2004 en La Pampa, Neuquén, Río Negro, Entre Ríos y Jujuy; 2011 en Misiones; 2012 en Santa Fe, en los Departamentos de Aguirre, Rivadavia, Mitre y Belgrano de Santiago del Estero y re-certificación en La Pampa, Neuquén, Río Negro, Entre Ríos y Jujuy; 2013 en los Departamentos de Quebrachos y Ojo de Agua de Santiago del Estero y 2014 en San Luis), **Paraguay** (2002 en el Departamento de Amabay; 2013 en el sector Alto Paraguay; 2016 en el Departamento de Boquerón y re-certificación de toda la región oriental, 2018 certificación completa); **Brasil** (2006, 2014, sólo para *T. infestans*, la transmisión vectorial continúa en el área amazónica por otras especies de triatomíneos) y **Perú** (2009, región de Tacna) (Lorca et al. 2001, 2008, Rassi Jr et al. 2010, Vásquez & Roque 2011, Spillmann et al. 2013, Rojas de Arias 2016, OPS/OMS 2018). Para certificar la eliminación de transmisión vectorial en un área determinada se exige: “infección menor a 1% de los niños menores de 5 años residentes en el área (con evidencia de infección congénita o vectorial silvestre); infestación de unidades domiciliarias < 1% (Intradomiciliarias < 0,1%, Peridomiciliarias < 1%) y ausencia de notificación de casos agudos por vía vectorial en los últimos años, junto con la constancia de existencia de un sistema de vigilancia sostenido en el tiempo y con registro de información en el área evaluada con un equipo mínimo de 1 referente, 2 administrativos y operarios necesarios en el campo” (OPS/OMS 2018).

La eliminación de *T. infestans* de los domicilios se realiza mediante aplicación de insecticidas químicos (principalmente piretroides) (Schofield 1994, Casida & Quistad 1998, Castillo-Riquelme et al. 2008, Coura & Dias 2009, Gürtler 2009A), sin embargo, para que esta acción sea efectiva es primordial no excluir otras medidas de prevención, como la educación sanitaria y la participación comunitaria, incluso involucrando a los pobladores en el mejoramiento de sus viviendas y peridomicilios .

La vigilancia de los insectos vectores es primordial, ya que todo plan de ataque puede estar influenciado por numerosos factores que hacen que el control no sea efectivo, quedando focos persistentes de triatomíneos por falta de cobertura completa del rociado o desarrollo de resistencia por parte de los insectos. Dadas las características del contexto donde se desarrolla la enfermedad de Chagas, claramente es un problema social y complejo por lo cual, para lograr éxito en su control, es necesario un enfoque multidisciplinario y multisectorial. El diseño de las acciones debe estar en función de la prevención, educación y tratamiento que brinden respuestas integrales acordes a las particularidades del área de interés (Cohen & Gürtler 2001, Briceño-León & Méndez Galván 2007).

Principales características de *Triatoma infestans*

Triatoma infestans pertenece al orden Hemiptera, familia Reduviidae, subfamilia Triatominae (Lent & Wygodzinsky 1979), y es el principal vector de *T. cruzi* en el Cono Sur de Sudamérica. En Argentina tiene la denominación común de “vinchuca” o “chinche”. Antes de 1991 su distribución abarcaba unos 6,28 millones de km² incluyendo regiones de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay, sur de Perú y Uruguay (Gorla 2002, Schofield et al. 2006). Posteriormente, por las intervenciones de control, su localización disminuyó a menos de 1 millón de km² (Dias et al. 2002, Schofield & Kabayo 2008). Su ciclo de desarrollo está compuesto por tres fases: huevo, cinco estadios ninfales y adulto (Figura 1.B). Todos los estadios ninfales y adultos comparten el hábito alimentario, siendo hematófagos obligados. Esta característica se relaciona con el éxito de *T. infestans* como vector de *T. cruzi* ya que, durante todo su desarrollo, puede estar involucrado en el ciclo de transmisión.



Figura 1.B. Ciclo de vida de *Triatoma infestans*.

Los triatomíneos pueden desarrollarse en diferentes ecotopos, algunos tienen hábitos silvestres, otros suelen invadir el peridomicilio y las estructuras asociadas a las viviendas (principalmente corrales, gallineros y conejeras) alimentándose de los animales domésticos (perros, gatos) y vertebrados que se encuentran a pocos metros del hogar (principalmente roedores). Por otro lado, la prevalencia de la enfermedad de Chagas en humanos, está asociada con la tenencia de animales, principalmente caninos, en sus domicilios (Diosque et al. 2004, Turriago Gómez et al. 2008, Manrique-Abril et al. 2012). En la región Chaqueña (Noireau 2009) existen evidencias de que *T. infestans* puede encontrarse en ambientes silvestres, asociados a árboles, nidos de Furnariidae y Psittacidae en general y específicamente de *Columba livia* (paloma doméstica) y *Cyanoliseus patagonus* (loro barranquero) y en madrigueras de *Calomys callosus* (laucha campestre) (Cichero et al. 1984, Vallvé et al. 1995, Hernández et al. 2015). Sin embargo, estas poblaciones no jugarían un papel importante en la colonización de estructuras domésticas o peridomésticas (Noireau & Dujardin 2001). En nuestro país, la única especie doméstica, adaptada a las condiciones de las viviendas humanas y, por lo tanto, de mayor importancia epidemiológica es *T. infestans*. Dentro de las viviendas es común

encontrarlas en refugios contruidos principalmente con adobe y jarilla (Marsden et al. 1982) o en las estructuras peridomésticas. Factores ambientales, como la amplitud térmica y la densidad de vegetación, están relacionados directamente con la presencia del insecto. Las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de abundantes poblaciones de *T. infestans* son elevada temperatura y baja precipitación. La variabilidad genética y la amplia plasticidad fenotípica de las poblaciones locales de *T. infestans*, permiten que se adapten a diferentes condiciones micro y macro geográficas (Bargues et al. 2006) incluyendo la ocurrencia de poblaciones resistentes a diferentes principios activos usados como insecticidas con acción residual (Picollo et al. 2005, Germano et al. 2010). Por otra parte, la densidad de insectos está fuertemente relacionada con la densidad de hospedadores, principalmente en gallineros (Gorla & Schofield 1989, Gürtler et al. 2009B).

Control de las poblaciones de *T. infestans* en relación al área de estudio

Desde el inicio de los programas de control para *T. infestans*, el rociado con insecticidas, el mejoramiento de las viviendas, la educación sanitaria y la participación comunitaria fueron las herramientas que permitieron eliminar la infestación domiciliaria por estos vectores en grandes extensiones del área rural de Argentina. Cada uno de estos elementos ha mostrado distintos resultados dependiendo del sector donde se aplicó, además existen factores culturales que dificultan la eliminación de las poblaciones domésticas de *T. infestans*, factores socio-económicos que mantienen a las comunidades rurales en un estado de desarrollo cercano a la supervivencia básica y factores políticos que no permiten el desarrollo de actividades sostenidas para el control y vigilancia de la infestación domiciliaria en viviendas rurales.

Las actividades de control vectorial en Argentina no fueron constantes a lo largo de los años y existen pocos datos hasta 1980. A nivel general, los primeros registros del tratamiento contra *T. infestans* implicaron utilizar kerosene, soda cáustica o la técnica casera de colocar agua hirviendo sobre las paredes de los domicilios infestados (Dias & Schofield 1999). En la década del 40, con el desarrollo de los insecticidas sintéticos, el control químico se convirtió en la técnica principal de tratamiento. Entre 1950 y 1980, las viviendas rurales fueron rociadas con insecticidas organoclorados (hexaclorociclohexano (HCH)) significativamente efectivos, pero con un alto riesgo toxicológico (Dias & Schofield 1999). Estos insecticidas fueron reemplazados por fosforados (fenitrotión y malatión) y carbamatos (protopoxur) menos persistentes y no bioacumulables. En las últimas décadas la recomendación es la aplicación de insecticidas piretroides (deltametrina,

cipermetrina, etc) (Casida & Quistad 1998, Gürtler et al. 2007) altamente efectivos contra los triatominos en el domicilio y que al mismo tiempo, presentan bajo riesgo ecológico, son inodoros y más rentables, requiriendo bajas dosis para lograr el control. El gran cambio en el control vectorial de *T. infestans* se observó en la década de 1990 donde el Programa Nacional de Chagas descentralizó las actividades a cada provincia. Particularmente para La Rioja, significó que las acciones sistemáticas de control dejaran de funcionar durante 15 años. En el 2005, el **“Programa Provincial de Chagas La Rioja” (PPCHLR)** comenzó a trabajar con un proyecto centralizado cuyo objetivo era la interrupción de la transmisión vectorial identificando como área prioritaria a los ocho Departamentos de Los Llanos. En este contexto, se comenzó un programa de rociado que cubría todas las viviendas rurales y sus áreas peridomésticas. Para lograr este objetivo, las brigadas especializadas del PPCHLR comenzaron a realizar evaluaciones entomológicas periódicas dentro de las viviendas rurales y las estructuras circundantes (corrales, gallineros y depósitos). Posteriormente, dependiendo del protocolo adoptado por las brigadas, puede aplicarse tratamiento químico completo en todo el área (rociado masivo) o sólo rociar con insecticida focalizando en las viviendas donde se ha detectado la presencia de *T. infestans*.

En la actualidad el rociado con piretroides es el tratamiento más utilizado en Argentina. Desde el momento en que el tratamiento químico es aplicado, la capacidad insecticida disminuye con el paso de los días. Además, la exposición directa a la radiación solar es una de las principales causas que reduce la actividad del piretroide a través del tiempo (Gürtler et al. 1994). Cuanto más expuesto a la radiación solar se encuentre, menor tiempo de poder residual (tiempo durante el cual presenta capacidad de afectar a los insectos). Por este motivo, la eficacia disminuye en las estructuras peridomésticas, principalmente en los corrales, dejando poblaciones residuales (poblaciones de *T. infestans* que persisten luego de ser aplicado el tratamiento insecticida) que pueden convertirse en fuentes de reinfestación de sitios libres de vectores (Cecere et al. 2006). Sin control periódico la infestación regresa a los niveles que existían antes del tratamiento con insecticidas en menos de 3 años en algunos casos (Gürtler et al. 2007). Los procesos de reinfestación, por limitaciones del tratamiento con insecticidas, han generado una situación más compleja para abordar la problemática. Otro de los factores que impone limitaciones al control de *T. infestans* en el área, es la gran dispersión geográfica de las viviendas. El análisis de los datos georeferenciados del PPCHLR mostró que el 71,1% de las Localidades del área tienen 4 o menos viviendas (Gorla et al. 2009). Esta dispersión impone un costo muy elevado para el desplazamiento de las brigadas de control entre Localidades y dificulta brindar un seguimiento frecuente del estado entomológico de las viviendas del área endémica. Por otro lado, incluso dentro de la misma Provincia de La Rioja,

existen diferencias al implementar las acciones de control vectorial, debido a que el compromiso asumido por el personal municipal encargado de la evaluación, rociado y vigilancia de viviendas es diferente en cada Departamento.

Por último, el tipo de vivienda y material de construcción de paredes (Marsden et al. 1982) y techos (Ronderos et al. 1980) juega un rol importante en la infestación por *T. infestans*. Las viviendas rurales construidas con adobe, palos y paja presentan gran disponibilidad de refugios para triatominos y favorecen la colonización por *T. infestans*. Estas condiciones aumentan en las viviendas con numerosas grietas, paredes sin revocar y techos de caña, ramas, arbustos y material vegetal (Grijalva et al. 2003). Este tipo de viviendas presentan mayor colonización (desarrollo de estados inmaduros del vector) (Gurevitz et al. 2011) por la amortiguación de la temperatura externa generando un ambiente óptimo para el desarrollo de los estadios ninfales. Las construcciones de madera también pueden ser colonizadas por *T. infestans*, especialmente en las áreas que poseen alta infestación. En contraposición, las viviendas con paredes sin grietas ni huecos, blanqueadas con cal, cubiertas con techos con cielo raso y sin material vegetal, inhiben la colonización por triatominos. A partir de esto, varios programas gubernamentales intentaron dar solución a la problemática de infestación por *T. infestans* mediante la construcción de viviendas de materiales de buena calidad que eviten las grietas en la infraestructura. En Argentina, el **“Programa de Erradicación de Ranchos”** se desarrolla en áreas con alta infestación por *T. infestans* y consiste en la instalación de Nuevas Viviendas que reemplazan los ranchos o Viviendas Tradicionales de adobe, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los propietarios y disminuir la infestación por triatominos. El Programa funciona en La Rioja (2008), Córdoba (2009) y Santiago del Estero (2014), se maneja con fondos provinciales y en conjunto con organizaciones no gubernamentales (Spano Romina, comunicación Personal). En la actualidad, no se cuenta con registros oficiales de los datos referidos al material de construcción, localización, costos y rentabilidad de las viviendas construidas en el marco de estos programas.

Teoría de metapoblaciones y su relación con la infestación por *T. infestans*

El problema de infestación por *T. infestans* es claramente relevante, tanto desde el punto de vista del conocimiento de la ecología poblacional del insecto, como por la implicancia que pueda tener la comprensión de estos procesos biológicos, para mejorar la eficacia de los programas de control del principal vector de *T. cruzi* en Argentina. La teoría de las metapoblaciones fue introducida por Levins (1969) con el fin de compensar las deficiencias existentes en los modelos clásicos de dinámica de poblaciones que ignoran el flujo de individuos que hay entre poblaciones vecinas, introduciendo el concepto de metapoblación. En esta teoría se entiende a cada población como un grupo de poblaciones locales que están conectadas entre sí por procesos de migraciones, extinciones y colonizaciones, que facilitan la capacidad de supervivencia de la especie a lo largo del tiempo en la zona estudiada.

Al analizar a *T. infestans* desde este enfoque, se puede interpretar su dinámica poblacional y considerar que las acciones de control utilizando insecticidas piretroides, extinguen algunas poblaciones locales (especialmente dentro del domicilio). Sin embargo, el resultado no es homogéneo y luego de cada rociado muchas poblaciones se recuperan (especialmente en el peridomicilio). De esta forma, se reinicia el proceso de recolonización (Cecere et al. 2006). El contexto biológico donde se desarrollan las poblaciones de *T. infestans* incluye factores adecuados para el crecimiento de altas densidades de este vector en Los Llanos Riojanos (ej. gran disponibilidad de hospedadores, complejidad de los peridomicilios cercanos a las viviendas y elevadas temperaturas en estaciones cálidas). Hasta el momento, es muy escaso el estudio de campo de estos procesos de recolonización interpretados desde la teoría metapoblacional.

La teoría de metapoblaciones explora las condiciones en que una subpoblación es capaz de persistir temporalmente en un área determinada y se basa en identificar parches de hábitat discretos que en el tiempo presentan un balance entre extinciones locales y recolonizaciones, conectados entre sí, vía migración (Hanski 1999A). Se define como “parche” a un área con los recursos necesarios para que la especie pueda establecerse. Cada parche se puede caracterizar por su tamaño, calidad y forma particular. Los parches de buena calidad son definidos como áreas donde la disponibilidad de refugios y fuentes de alimento garantizan que el éxito reproductivo de la especie sea mayor que la mortalidad local.

Desde el enfoque en que se plantea esta Tesis, cada vivienda se interpreta como un parche. Por lo tanto, considerando la teoría de metapoblaciones, la instalación de Nuevas Viviendas (eliminando la tradicional) en áreas rurales endémicas provoca una disminución de la calidad de los parches disponibles para *T. infestans* (en termino de ocurrencia del vector). Conociendo la diversidad de tipologías de viviendas existentes en Los Llanos, podemos identificar un gradiente de calidad entre parches que varía desde la más favorable para *T. infestans* (representado por viviendas con paredes y techo de adobe y paja, numerosas estructuras peridomiciliarias con animales domésticos y viviendas vecinas cercanas similares) hasta el menos favorable (representado por una Vivienda Nueva sin estructuras peridomiciliarias y alejada de otras viviendas). Esta interpretación teórica de la situación descrita, permite estudiar el impacto del mejoramiento de viviendas sobre la infestación domiciliar por *T. infestans* y comprender las causas del restablecimiento en sitios donde el vector había sido eliminado mediante la aplicación de insecticidas.

Objetivos

Objetivo General

Comprender la dinámica de los procesos de ocupación de Viviendas Nuevas por *Triatoma infestans* en el contexto de la teoría de metapoblaciones en Los Llanos sur de La Rioja

Objetivos específicos

1. Actualizar la estimación de la prevalencia de infestación por *T. infestans* en viviendas de Los Llanos sur (La Rioja) y analizar las variaciones en la infestación en relación a la instalación de Nuevas Viviendas en el área.
2. Identificar y ponderar factores de riesgo de infestación por *T. infestans* en las viviendas del área de estudio.
3. Estimar el efecto de la disminución de la calidad del parche por instalación de Nuevas Viviendas, en un contexto metapoblacional que describa la prevalencia de infestación por *T. infestans*.
4. Evaluar la frecuencia de invasión de viviendas rurales por triatominos silvestres.

Hipótesis

Hipótesis 1

Mecanismo: Las características que distinguen a *T. infestans* de otros triatomíneos son sus hábitos domésticos. Las poblaciones domiciliarias suelen alojarse en refugios provistos por los materiales de construcción, habitualmente en viviendas precarias construidas sobre la base de componentes orgánicos como el adobe y la jarilla. Hipótesis: Las Viviendas Nuevas no presentan grietas visibles en las paredes y por el tipo de material de construcción poseen menos condiciones de refugio para *T. infestans*. Predicción: La prevalencia de infestación por *T. infestans* será menor en las Viviendas Nuevas.

Hipótesis 2

Mecanismo: En el área de estudio coexisten factores ambientales y bio-socio-culturales que favorecen la persistencia de *T. infestans* y permiten la recolonización de los domicilios luego de cada rociado. Hipótesis: Asumiendo que las condiciones ambientales y climáticas (principalmente temperatura y precipitación) son similares en la zona de estudio, los factores de riesgo que determinan la infestación de las viviendas son sus Características Físicas (= tipo y material de construcción), la complejidad del Entorno Asociado (= tipo y número de estructuras peridomésticas y de viviendas vecinas) y el Control Vectorial que reciba (= químico y cultural). Predicciones: **(A)** La complejidad del peridomicilio presentará una relación directa y positiva con la infestación. **(B)** Existe una diferencia en la infestación entre las Viviendas Nuevas y las Viviendas Tradicionales, siendo, las Viviendas Tradicionales con peridomicilio asociado, las que presentarán mayor infestación por *T. infestans*. **(C)** Una vivienda, sin importar su tipología, donde los propietarios presentan pautas culturales de limpieza frecuente y recibe tratamiento químico, mostrará menor infestación. **(D)** Las Localidades con menor número de viviendas y entorno más complejo presentarán mayor infestación. **(E)** En la zona de estudio la infestación variará al inicio y final de la temporada cálida y entre Departamentos durante el período analizado.

Hipótesis 3

Mecanismo: La abundancia de cada subpoblación depende de la “calidad” de los parches que conforman el sistema. Los parches con más cantidad de recursos y refugios tienen la capacidad de albergar más individuos, menor probabilidad de extinción local y mayor probabilidad de enviar emigrantes a otro parche. Hipótesis original (3.A): En el contexto de la teoría de metapoblaciones, la calidad del parche para *T. infestans* disminuye sólo si la instalación de una Vivienda Nueva va acompañada de la desaparición de la antigua vivienda rancho y una mejora del peridomicilio. Predicción: El reemplazo de parches de alta calidad por parches de baja calidad para *T. infestans*, disminuirá la probabilidad de colonización de esta especie.

Hipótesis 3.B: Debido a que, luego de los relevamientos de campo, en el área de estudio no se detectaron casos donde la construcción de Viviendas Nuevas fuera acompañada de la eliminación de la vivienda rancho tradicional, la hipótesis original fue modificada. Se considera que los parches en el área de estudio presentan diferentes calidades, siendo la Vivienda Nueva, construida en lugares donde previamente no existía Vivienda Tradicional, la de menor calidad desde el punto de vista de *T. infestans*. Predicción: La probabilidad de colonización disminuirá en los parches de menor calidad.

Hipótesis 4

Mecanismo: El área de estudio se caracteriza por grupos de viviendas separados entre sí por zonas con vegetación nativa y amplia variedad de vertebrados que sirven de fuente de alimentación para los triatomíneos (comadrejas, roedores y gran cantidad de aves). Hipótesis: Las características de la vegetación circundante otorga disponibilidad de refugios y fuentes de alimentos para distintas especies de triatomíneos, que eventualmente pueden llegar hasta las viviendas. Predicción: Las viviendas más cercanas a las áreas con vegetación, reportarán mayor frecuencia de invasión de triatomíneos silvestres.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA GENERAL



METODOLOGÍA GENERAL

Área de estudio

El Gran Chaco Americano es una ecorregión extensa (1.066.000 km²) que abarca parte del norte de Argentina, este de Bolivia, oeste de Paraguay y un pequeño sector de Brasil. En Argentina incluye las provincias de Formosa, Chaco, Santa Fe, Santiago del Estero, Tucumán, Salta, Jujuy, Catamarca, La Rioja y Córdoba. En el extremo sur de La Rioja se ubica la región de Los Llanos que ocupa una superficie de alrededor de 40.000 km² y está formada por 8 departamentos: Chamental, General Belgrano, General Ángel Vicente Peñaloza, General Ocampo, General Juan Facundo Quiroga, Independencia, Rosario Vera Peñaloza y General San Martín (Figura 2.A). Fitogeográficamente corresponde a la región Chaqueña, con una gran amplitud térmica diaria y estacional, con déficit hídrico gran parte del año, ya que las precipitaciones se concentran entre los meses de noviembre a marzo. La vegetación natural dominante es xerófila y herbácea, compuesta principalmente de pequeños arbustos y gramíneas perennes y anuales. Entre las especies vegetales de mayor porte se destacan *Prosopis flexuosa* (Algarrobo), *Cercidium praecox* (Brea), *Senna aphylla* (Pichana), *Larrea divaricata* (Jarilla) y variedad de Cactáceas (ej *Cereus forbesii*, *Echinopsis leucantha*, *Stetsonia coryne*). También es frecuente *Geoffroea decorticans* (Chañar) y *Aspidosperma quebracho-blanco* (Quebracho Blanco). En la zona sudeste, de suelos mayormente arenosos, crecen *Chloris ciliata*, *Pappophorum phillippianum* y *Trichloris crinita* (Gramíneas duras y resistentes). En los suelos salinos, por su parte, se desarrollan plantas halófitas como *Atriplex argentina* (Cachiyuyo) (Biurrun et al. 2012).

La población rural de la región es de 39.621 habitantes, lo cual representa el 44% de la población rural provincial (58.803 personas) (INDEC 2010). La población se encuentra distribuida desigualmente en el territorio, estructurada en pequeños poblados o parajes dispersos, comunicados por caminos de tierra deteriorados e intransitables en algunas épocas del año.

Mayoritariamente el área se caracteriza por la presencia de Viviendas Tradicionales construidas con paredes de adobe y techos con una estructura de múltiples capas de barro y vegetación local.

Aunque también encontramos viviendas de ladrillo cocido, es común el adobe como revoque y/o material de unión. En menor medida se observan Viviendas Nuevas de plástico y techo de aluminio galvanizado. Generalmente las viviendas cuentan con complejos peridomicilios (conjunto de estructuras asociadas a los dormitorios de la misma) representados por lugares de protección de animales y sitios de depósito. Estas estructuras se encuentran distribuidas a distancias variables del domicilio en un rango de 10 a 200 metros.

Los Llanos presentan una variada infestación por *T. infestans*: áreas sin infestación, áreas con infestación intra y peridomiciliaria elevada y áreas con infestación únicamente en el peridomicilio (Gorla et al. 2010). Como parte del programa de control del vector de la enfermedad de Chagas, entre 2005-2008 cada vivienda rural de la zona (y en la provincia en general) fue oportunamente identificada por el personal del PPCHLR con un código numérico individual, conformado por el código de Departamento provincial asignado por el INDEC y un número correlativo entre 0001 y 9999. El código fue instalado en una placa de aluminio y clavado en un lugar visible en el frente de la vivienda. Adicionalmente, se registraron las coordenadas en latitud y longitud de cada hogar usando un GPS. Toda la información de las viviendas se encuentra en planillas digitales pertenecientes al PPCHLR. Esta base de datos permite el seguimiento individual a lo largo del tiempo y cada número de vivienda se asocia a la información demográfica de sus ocupantes, coordenadas geográficas, características de las estructuras peridomiciliarias, datos sobre las evaluaciones entomológicas (infestación por *T. infestans* con detalles de cada intervención de control realizada usando insecticida químico). A partir del análisis de estas planillas se seleccionaron, como área de estudio, específicamente los Departamentos: General Ángel Vicente Peñaloza, Rosario Vera Peñaloza y General San Martín, ubicados al sur de Los Llanos, (31° Sur (S), 66° Oeste (O), de acá en adelante: Ángel Vicente Peñaloza (AVP), Rosario Vera Peñaloza (RVP) y San Martín (SM)). Los criterios de selección considerados incluyeron la disponibilidad de datos georeferenciados y los registros históricos de presencia de *T. infestans* en dichos Departamentos que los evidenciaron como las áreas de mayor infestación por *T. infestans* (Gürtler et al. 2004, Porcasi et al. 2006, 2007, Gorla et al. 2009).

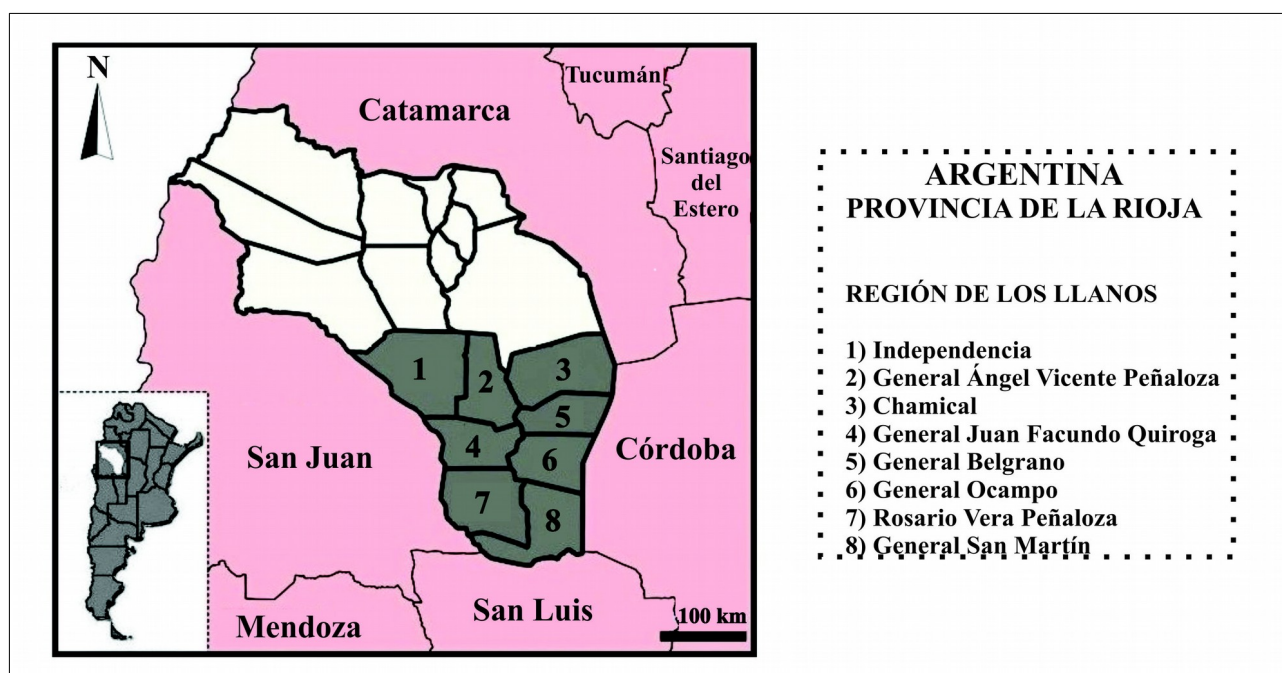


Figura 2.A. Departamentos que conforman la región de Los Llanos en la Provincia de La Rioja.

Selección de las unidades muestrales

Identificación y georeferenciación de Viviendas Nuevas

El “**Programa de Erradicación de Ranchos**” se implementó en La Rioja desde el año 2008 y se desarrolla principalmente en los 8 Departamentos que conforman Los Llanos, donde la problemática de infestación por *T. infestans* es mayor. El Programa tiene por objetivo la instalación de Viviendas Nuevas (VN) que reemplazan los ranchos o Viviendas Tradicionales (VT), con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los propietarios y, al mismo tiempo, disminuir la infestación por triatominos. A nivel gubernamental no existe un registro de localización y tipo de material constructivo de las Nuevas Viviendas (Spano Romina, comunicación personal).

Para identificar la ubicación de las Viviendas Nuevas y sus características constructivas, durante Mayo y Julio de 2014, se realizó el relevamiento en los Departamentos de Ángel Vicente Peñaloza, San Martín y Rosario Vera Peñaloza. En primer lugar, junto con el personal de PPCHLR, se listaron las Localidades donde los técnicos habían registrado la construcción de Viviendas Nuevas. A partir de estos datos, se visitaron cada una de estas Localidades para generar un registro de las Viviendas Nuevas, verificar su numeración según los datos proporcionados por el PPCHLR y listar sus

coordenadas (latitud y longitud) mediante el uso de GPS (Garmin Legend). Al mismo tiempo, se elaboró un croquis de cada vivienda y se tomaron fotografías documentando los detalles principales respecto al material de construcción de la pared y techo, estructura del peridomicilio (cantidad de gallineros, corrales, depósitos, otros) y presencia/ausencia de la Vivienda Tradicional. Por último, se realizó un cuestionario a los propietarios de la vivienda sobre los datos demográficos (nombre, edad, sexo de cada integrante de la familia), la utilización que se le daba a la Vivienda Nueva y si habían detectado presencia de triatominos dentro de la misma.

Caracterización de Viviendas Nuevas

El programa menciona la erradicación de las Viviendas Tradicionales, sin embargo, su eliminación no siempre ocurre (debido a que las Nuevas Viviendas son generalmente mucho más pequeñas que las antiguas y en ocasiones no tienen el tamaño suficiente para albergar a todo el grupo familiar), por lo que es frecuente la coexistencia de la nueva con la antigua vivienda.

Según los datos obtenidos del relevamiento en terreno, en el área de estudio se registraron y georeferenciaron 170 Viviendas Nuevas (40 en Ángel Vicente Peñaloza, 54 en Rosario Vera Peñaloza y 76 en San Martín). No se detectaron casos donde la construcción de las VN fuera acompañada de la eliminación de la Vivienda Tradicional. Esto genera que existan Viviendas Nuevas sin tradicional aledaña (construida en lugares donde previamente no existía Vivienda Tradicional) y Viviendas Conjuntos (VT + VN), donde persiste la estructura tradicional y se adosa una construcción nueva a menos de 20 m., incluso unidas por una galería (enramada) que triplica la superficie construida disponible para la familia.

Las Viviendas Nuevas son de pequeñas dimensiones y presentan un dormitorio, una cocina-comedor y un baño (Figura 2.B). El material de construcción varía de acuerdo a cada Departamento, en AVP y en algunas Localidades de SM son de ladrillo cocido revocadas con cemento, mientras que la mayoría de las VN en SM y RVP son de una lámina plástica con poliuretano y cemento con el techo de aluminio galvanizado. En las Viviendas Conjunto, los materiales de construcción que predominan en cada tipo de vivienda son distintos: ambas de ladrillo cocido o una combinación (ladrillo cocido revocadas con cemento (VT) + lámina plástica con el techo de aluminio galvanizado (VN)). Las Viviendas Nuevas cuentan con electricidad, luz y agua. Sin embargo, algunas de ellas presentan falencias de construcción que se observan por el deterioro de la estructura con el paso del tiempo (roturas de cielo raso, paredes, tanques de agua y vidrios). Esto

lleva a que, en algunos casos, se las destine a un uso limitado como depósito. La cantidad de viviendas construidas en los 3 Departamentos es relativamente similar, aunque su disposición en el espacio difiere. En AVP las Viviendas Nuevas están concentradas en las Localidades con un mayor número de Viviendas Tradicionales, en RVP se encuentran dispersas en Localidades pequeñas y en SM están distribuidas por todo el Departamento, tanto en áreas grandes como en pequeños poblados. En cada Localidad las viviendas se encuentran a una distancia media de 42,13 m. en un rango de 1,03 a 719,71 m.

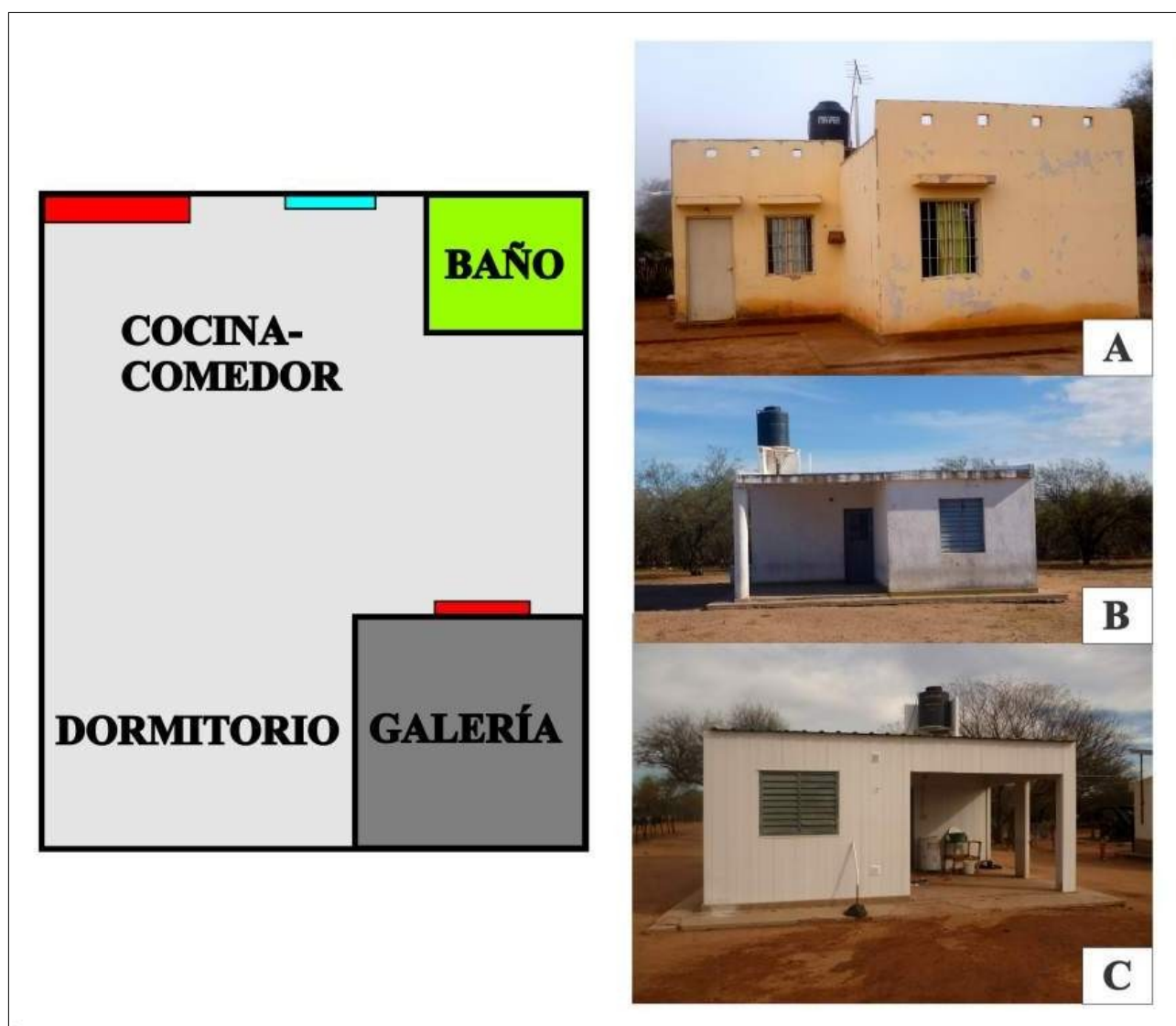


Figura 2.B. Esquema representativo de la Vivienda Nueva construida bajo el marco del “Programa de erradicación de Ranchos”. Localización de las viviendas: A: Ángel Vicente Peñaloza. B: San Martín. C: San Martín y Rosario Vera Peñaloza. Material de construcción predominante: A y B: Ladrillo cocido revocados con cemento. C: Lámina plástica con techo de aluminio galvanizado y cielo raso de durlock y telgopor.

Selección de las viviendas para el estudio

Como primer paso, los datos de las planillas proporcionadas por el PPCHLR con la información de las viviendas de Los Llanos se ordenaron, filtraron y unificaron. Se seleccionaron los datos de Localidades donde se constató la construcción de Viviendas Nuevas. Se eliminaron los datos de viviendas con números de identificación repetidos o con información confusa. Se unificó la información georeferenciada de las bases del PPCHLR y de los registros de Nuevas Viviendas colectados en los relevamientos en terreno, y se generaron archivos shape que permitieron elaborar mapas con la ubicación de todas las viviendas de los Departamentos de AVP, SM y RVP utilizando el programa Qgis (v.2.18). A partir de este mapa, mediante la herramienta *buffer*, se seleccionaron las Viviendas Tradicionales que se encontraban ubicadas dentro de un radio no mayor a 400 metros a la Vivienda Nueva (rango de distancia estimada como de dispersión activa más frecuente para *T. infestans* (Cecere et al. 2004)).

La muestra utilizada para el estudio se constituyó por el conjunto de 397 viviendas, entre nuevas y tradicionales aledañas, de la siguiente forma: 93 Viviendas Nuevas, 227 Viviendas Tradicionales y 77 Viviendas Conjunto (VT+VN). En la tabla 2.A se detalla el número de viviendas seleccionadas en cada Departamento subdivididas por su tipología.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) una Localidad se define como “una porción de la superficie de la tierra caracterizada por la forma, cantidad, tamaño y proximidad entre sí de ciertos objetos físicos artificiales fijos (edificios) y por modificaciones artificiales del suelo (calles), necesarias para conectarlas”. Como esta descripción no es apropiada al área de estudio, se definió “Localidad” en relación a los objetivos planteados como el grupo de viviendas separadas por, al menos, dos km de otro grupo y su denominación fue de acuerdo al nombre que le otorga cada poblador, en coincidencia con los datos citados en las planillas de cada Departamento en las bases del PPCHLR. Las Localidades incluidas en el estudio, fueron aquellas donde se instalaron Nuevas Viviendas, abarcando un total de 72 (6 en AVP, 31 en RVP y 35 en SM). En algunas situaciones, una Localidad quedó compuesta por 1 ó 2 viviendas, sin embargo, predominan las conformadas por 4 a 6 viviendas. La disposición de las Localidades, según el número y la tipología de las viviendas, se representa en la Figura 2.C.

Tabla 2.A. Número de viviendas en el área de estudio

Características	AVP	RVP	SM
Cantidad de Viviendas	122	110	165
VN	34	26	33
VT	82	56	89
VT+VN	6	28	43

VN: Vivienda Nueva. VT: Vivienda Tradicional. VT+VN: Vivienda Conjunto. Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín.

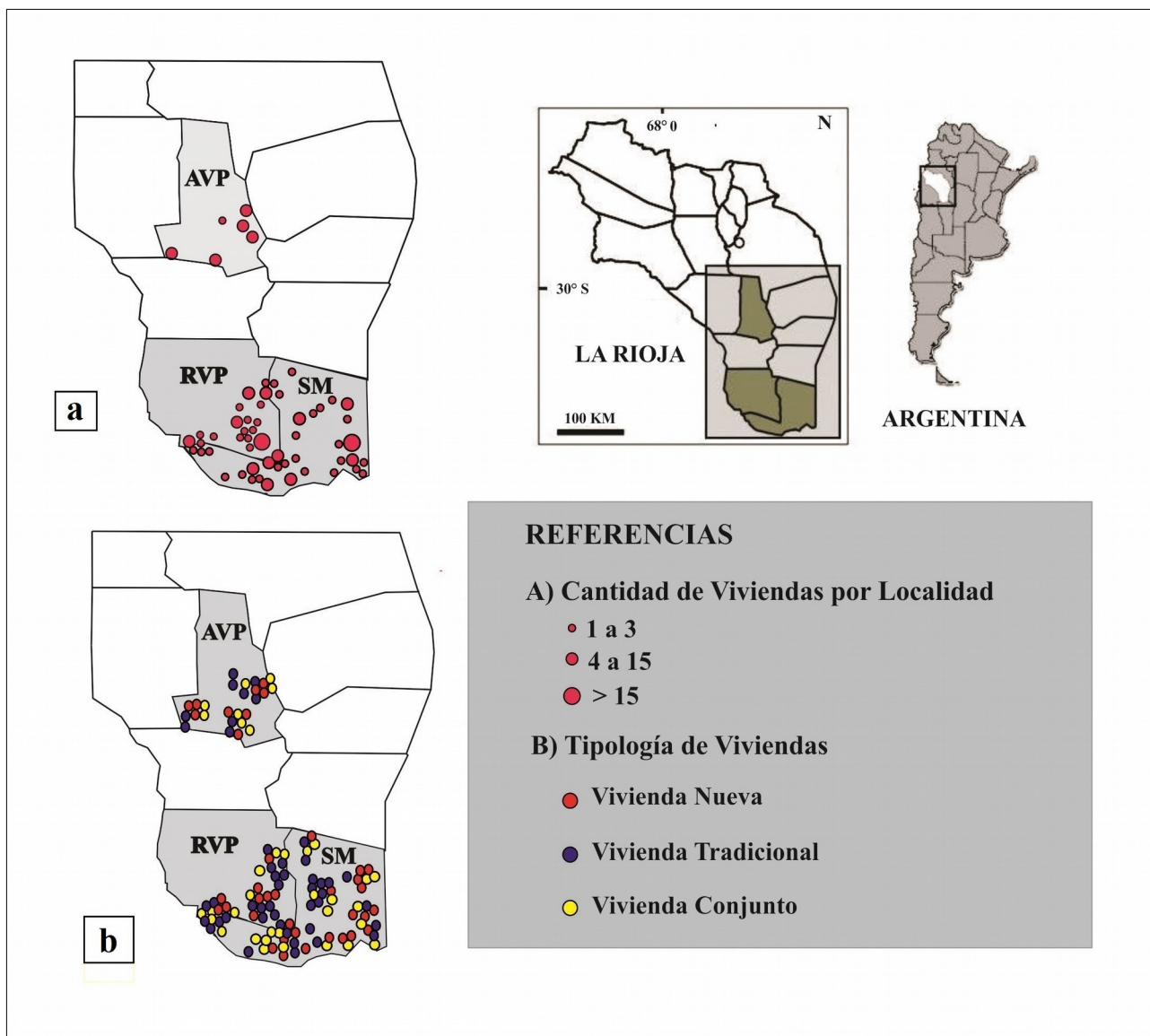


Figura 2.C. Área de estudio. a: Distribución de las Localidades (tamaño del círculo en relación al número de vivienda por Localidad). b: Distribución de las viviendas en el área de estudio (el círculo indica la ubicación de la vivienda estudiada y el color el tipo de vivienda). Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín.

Evaluación entomológica de las viviendas

La infestación de las viviendas fue evaluada periódicamente usando dos metodologías de colecta. El método de colecta se definió “pasivo” cuando la comunidad, previamente capacitada en reconocimiento de vinchucas e instrucciones para su colecta, estuvo involucrada en el relevamiento de la infestación de la vivienda. Mientras que se consideró “activo” cuando personal capacitado (investigadores y técnicos del PPCHLR) evaluó la infestación de la vivienda por medio del método hora/hombre. Se realizaron 8 muestreos de triatominos en el área de estudio entre Noviembre2014 y Febrero2017 (Nov2014, Feb2015, Marzo2015 y Nov2015, Feb2016, Marzo2016 y Nov2016 y Feb2017). Las campañas de Noviembre corresponden al “inicio temporada cálida” (primavera), mientras que las de Febrero, pertenecen a la “finalización de la temporada cálida” (verano). Las campañas de Marzo se realizaron con diferentes objetivos que serán expuestos a continuación. Durante los muestreos se visitaron las mismas Localidades, sin embargo, el número de viviendas evaluadas varió en cada fecha, dependiendo de las condiciones climáticas (inundaciones en los caminos de acceso por abundantes lluvias), disponibilidad de los propietarios al momento de la recolección de triatominos y el estado de la vivienda al ser visitada (cerrada por no encontrarse los propietarios) (Tabla 2.B).

Tabla 2.B. Número de viviendas evaluadas por muestreo

Fecha	Método de colecta	Cantidad de Viviendas evaluadas
Noviembre2014	Pasivo	341
Febrero2015	Pasivo	256
Marzo2015	Activo	62
Noviembre2015	Pasivo	322
Febrero2016	Pasivo	320
Marzo2016	Activo	78
Noviembre2016	Pasivo	291
Febrero2017	Pasivo	289

Método de colecta pasiva de *T. infestans*

En primer lugar los propietarios de las viviendas seleccionadas recibieron información sobre la Enfermedad de Chagas y como identificar *T. infestans* (especialmente ninfas) utilizando muestrarios del ciclo de vida y folletos educativos (Figura 2.D). Además se les informó como proceder en la recolección de triatomíneos para evitar la infección accidental. A su vez, se realizó una capacitación similar en las escuelas rurales de Los Llanos y los Centros Primarios de Salud (CPS) para alumnos, docentes y enfermeros mediante presentaciones audiovisuales. Se visitaron 7 escuelas y 3 CPS (Escuelas N.º 11 de Totoral, Escuela N.º 216 de La Consulta, Escuela N.º 180 de San José, Escuela N.º 96 de Jarilla de Abajo, Escuela N.º 112 de Villa Nidia, Escuela N.º 12 de Nueva Esperanza y Escuela N.º 79 de Chila y los CPS de Totoral, San Solano y San Rafael) (Figura 2.E).

Luego de la capacitación, a las familias que aceptaron voluntariamente participar en la búsqueda y recolección de *T. infestans*, se les entregaron dos bolsas plásticas de cierre hermético rotuladas con los datos de la vivienda (código de identificación de la misma, según lo establecido por el PPCHLR, y nombre del propietario). A cada familia se le solicitó que colectaran los triatomíneos que eventualmente encontraran en su vivienda y/o peridomicilio, los guardaran en las bolsas y anotaran en el rótulo el lugar de colecta. La colecta de triatomíneos por parte de los propietarios duró dos semanas, desde el momento en que se entregaron las bolsas de plástico hasta que se retiraron de la vivienda (Figura 2.F). Las bolsas con material eran guardadas en frascos plásticos para su traslado al laboratorio.



Figura 2.D. Material utilizado para la capacitación al grupo familiar sobre el reconocimiento de *T. infestans* y aspectos generales sobre la enfermedad de Chagas (cápsulas de Petri con *T. infestans* en los distintos estadios y folletos del Ministerio de Salud de la Nación).



Figura 2.E. Capacitación al grupo familiar y alumnos de las escuelas del área de estudio.



Figura 2.F. Método de colecta pasiva. Bolsas para la recolección de triatomíneos devueltas por los propietarios de las viviendas.

Método de colecta activa de *T. infestans*

Para registrar el estado de infestación mediante el método de colecta activa, cada vivienda seleccionada y la estructura peridomiciliaria asociada fue inspeccionada mediante una búsqueda manual y exhaustiva por cuatro personas capacitadas en la recolección de triatominos hasta completar una hora de esfuerzo de captura (método hora/hombre) (Figura 2.G). La colecta de triatominos se realizó usando un agente irritante (tetrametrina, Espacial®) que ayuda a que los insectos salgan de los lugares inaccesibles donde se refugian y reconociendo rastros (deyecciones y exuvias) de *T. infestans* sobre las paredes (Figura 2.H). Las búsquedas activas se realizaron en Marzo 2015 y 2016 sobre una submuestra de las 397 viviendas. La selección de las mismas se determinó en relación al objetivo planteado para cada muestreo en particular:

(1) En Marzo 2015 se realizó la colecta activa de *T. infestans* sobre 62 viviendas, las cuales habían sido evaluadas en los muestreos pasivos previos (Noviembre 2014 y Febrero 2015). El objetivo de este relevamiento fue detectar problemáticas relacionadas a la colecta por parte de los propietarios y corregir los aspectos necesarios para mejorar la colecta pasiva. La selección de las viviendas se realizó considerando el estado previo de infestación reportado por los propietarios, de manera de verificar que en las viviendas donde los propietarios no habían encontrado *T. infestans*, efectivamente no se registrara presencia de triatominos.

(2) En Marzo 2016 se realizó la colecta activa de *T. infestans* sobre 78 viviendas con la finalidad de obtener una estimación de la infestación actual de la zona de estudio mediante un muestreo diferente al pasivo y verificar la sensibilidad del mismo. La selección de viviendas se estratificó considerando el número de viviendas de cada tipología por Localidad: de las 397 viviendas se seleccionaron aleatoriamente 23 VN, 33 VT y 22 VT+VN.



Figura 2.G. Método de colecta activa.



Figura 2.H. Deyecciones de *T. infestans* en la pared de un depósito.

Tratamiento químico de las viviendas incluidas en el estudio

Las brigadas especializadas de control del PPCHLR son las responsables de la evaluación entomológica periódica de las viviendas en La Rioja. La búsqueda puede realizarse sólo para detectar presencia/ausencia de *T. infestans*, en cuyo caso la evaluación se interrumpe cuando se encuentran insectos en la Unidad Domiciliaria (conjunto de intradomicilio y peridomicilio) o utilizando la metodología activa mencionada, la cual permite estimar abundancia de insectos dentro de la vivienda (método hora/hombre). Inmediatamente después de la evaluación, la vivienda es clasificada según la infestación detectada. Se considera positiva para el intradomicilio, peridomicilio o ambos, cuando al menos un individuo es encontrado vivo en estos ecotopos. En caso de detectarse infestado el intradomicilio, el mismo equipo de técnicos realiza la aplicación de insecticida (generalmente Deltametrina 2,5%, alfacipermetrina 6% o betacipermetrina 5%) usando maquinaria manual de 5 ó 16 litros (con una carga máxima por operador de 12 litros). La última intervención química realizada por el PPCHLR, coincidió con los muestreos realizados durante este estudio, durante el 2014 para los Departamentos de San Martín y Rosario Vera Peñaloza y 2015 para Ángel Vicente Peñaloza. De esta forma, de las 397 viviendas incluidas en el muestreo, 104 recibieron tratamiento con deltametrina entre 2014 y 2015. El Capítulo IV incluye un análisis específico sobre la condición de las viviendas pos tratamiento químico y evaluó los efectos de las Intervenciones de Control (positivo o negativo) sobre la infestación por *T. infestans*.

Análisis de datos

Se unificó la terminología utilizada a lo largo de los distintos Capítulos, manteniendo el término “Vivienda” (considerando solamente el intradomicilio), “Unidad Domiciliaria” (conjunto de vivienda y sus estructuras peridomiciliarias asociadas (corrales, gallineros, conejeras, sitios de depósitos y lugar de guardado de materiales)) y “Parche” (Unidad Domiciliaria en términos de Metapoblación).

Los análisis de datos específicos se explican en cada Capítulo. En forma general las variables respuestas en este estudio fueron: infestación y colonización, variables binarias que asumen valor “1” si la vivienda estuvo infestada (o colonizada) y “0” si no lo está. Una vivienda se consideró “*infestada*” (=positiva) cuando el propietario encontró al menos un ejemplar de *T. infestans* (ninfa o adulto en el interior de la vivienda o peridomicilio). En caso contrario, se denominó “*negativa*”. Este mismo criterio se utilizó cuando el equipo de expertos colectó especímenes de *T. infestans*

durante la búsqueda activa. Para el análisis de especies silvestres correspondiente al Capítulo VI una vivienda se consideró “infestada” cuando el propietario colectó uno o más especímenes de triatominos (independientemente de la especie colectada).

Considerando la menor capacidad de dispersión que poseen los estadios inmaduros, la presencia de ninfas se utilizó como indicador de desarrollo de poblaciones de *T. infestans* en el sitio de colecta. Se definió “colonización” en las búsquedas pasivas a la presencia de ninfas de tercer, cuarto y quinto estadio en las bolsas devueltas por los pobladores. No se incluyó en este índice a las ninfas de los primeros estadios de *T. infestans* debido a que, por el tipo de colecta, es frecuente que estas ninfas sean producto de huevos eclosionados de las hembras fecundadas dentro de las bolsas (en caso de registrarse ninfas de primeros estadios en bolsas sin hembras adultas, se las consideró en la cuantificación de colonización). Para la búsqueda activa la “colonización” implicó la colecta de ninfas de cualquier estadio. Para el análisis metapoblacional correspondiente al Capítulo V, se consideró el término “colonización” como la presencia de ninfas y adultos de *T. infestans* en viviendas y su peridomicilio asociado (ocupación de parches).

A partir de las variables infestación y colonización se derivan los siguientes índices: *cobertura de evaluación por muestreo* (número de viviendas evaluadas/número de viviendas total) * 100; *éxito de recuperación de muestras* (número de viviendas donde el propietario devolvió la bolsa de colecta/total de viviendas evaluadas)*100; *porcentaje de infestación* (número de viviendas infestadas/número de viviendas evaluadas) * 100; *porcentaje de colonización* (número de viviendas colonizadas/número de viviendas evaluadas) * 100.

Cada propietario indicó el sitio de colecta, considerándose en el intradomicilio cuando la realizó dentro de la vivienda (en adelante: Infestación Intradomiciliaria (IID); Figura 2.I) y en el peridomicilio, si la colecta procedió del corral, gallinero, depósito u otra estructura asociada por fuera de la vivienda (= Infestación Peridomiciliaria (IPD); Figura 2.J). En algunos muestreos los propietarios no indicaban con exactitud el sitio de colecta, clasificándose como “sin dato”. Se calculó para cada muestreo: *Porcentaje de IID* (número de viviendas infestadas en el intradomicilio/número de viviendas evaluadas) * 100 y *porcentaje de IPD* (número de viviendas infestadas dentro del peridomicilio/número de viviendas evaluadas) * 100.

Todo el material entomológico recolectado en el campo fue analizado en el laboratorio del CRILAR siguiendo el protocolo que se detalla a continuación: (1) identificación de la especie (Lent & Wygodzinsky 1979), (2) conteo de abundancia de los insectos triatominos según el estadio (huevo, ninfa, adulto), (3) detección de *Trypanosoma cruzi* en material rectal (solo a los especímenes de *T.*

infestans en condiciones fisiológicas adecuadas). Para la búsqueda de infección por *T. cruzi* en los triatominos, las muestras fecales se examinaron en fresco en una gota de solución fisiológica en un microscopio óptico a un aumento de 400x durante 15 minutos aproximadamente (25 campos) (Figura 2.K).

Por último, cuando se encontraron *T. infestans* dentro de los domicilios o se detectó *T. cruzi* en las muestras, se dio aviso a la brigada departamental correspondiente y al PPCHLR, con el objeto de notificar a las autoridades para que se realice el rociado de la vivienda por personal del PPCHLR.



Figura 2.I. Infestación Intradomiciliaria.



Figura 2.J. Infestación Peridomiciliaria.

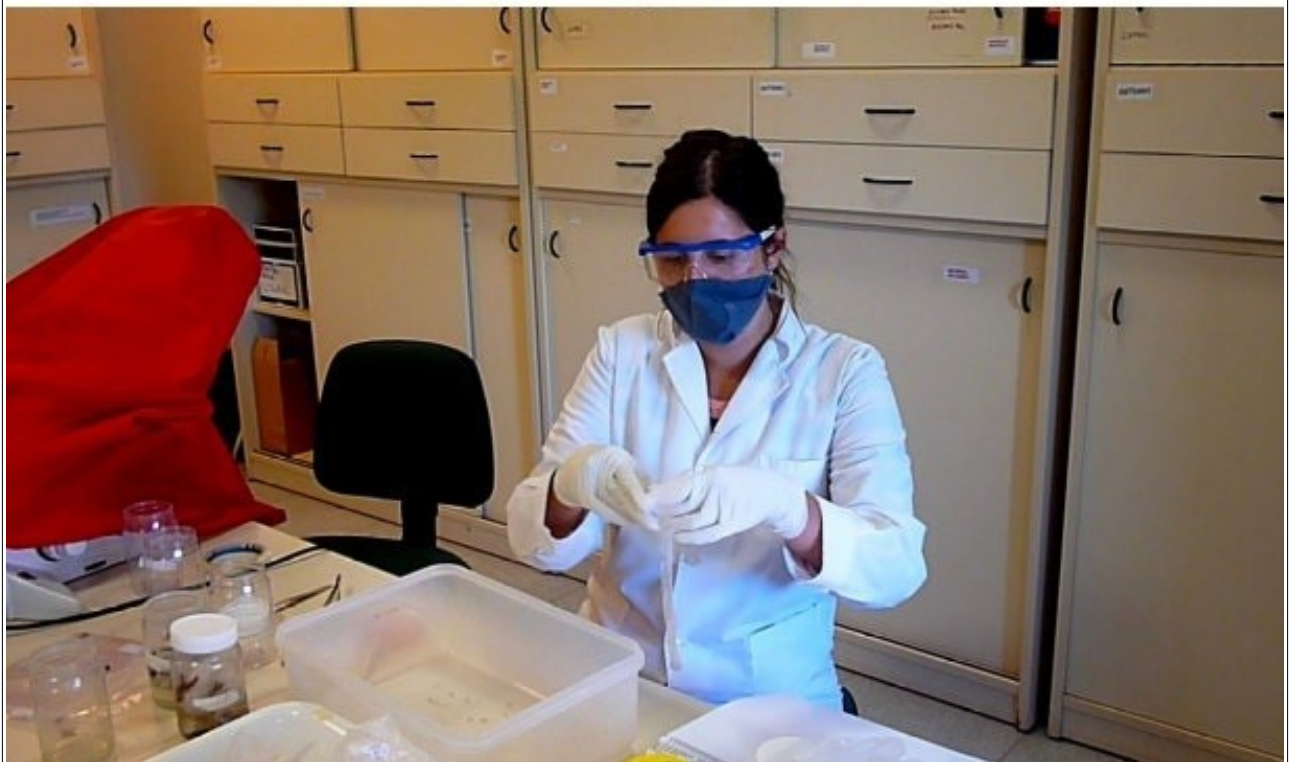


Figura 2.K. Actividades en laboratorio. Identificación de la especie y detección de *Trypanosoma cruzi* en material rectal de *T. infestans*.

CAPÍTULO III

ACTUALIZACIÓN DE LA INFESTACIÓN POR *TRIATOMA INFESTANS* EN LOS LLANOS RIOJANOS



ACTUALIZACIÓN DE LA INFESTACIÓN POR *TRIATOMA INFESTANS* EN LOS LLANOS RIOJANOS

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Triatoma infestans es un insecto de alta importancia sanitaria en América Latina debido a su rol como vector de la Enfermedad de Chagas. A nivel general, los insecticidas piretroides (Zerba 1999, Schofield et al. 2006, Dias 2007) utilizados para el rociado de viviendas y las áreas peridomiciliarias, son la herramienta central para el control de las poblaciones domésticas de *T. infestans* (Schofield 2001, Dias et al. 2002, Castillo-Riquelme et al. 2008, Coura & Dias 2009). El éxito en el control de *T. infestans*, en las comunidades rurales, está limitado por un número de factores que convergen para producir resultados variables. En primer lugar, es común la reinfestación temprana luego de la aplicación del insecticida, probablemente originada por focos residuales que no pudieron ser rociados (viviendas cerradas o focos ocultos en el peridomicilio que no fueron visualizados por los rociadores). En el área rural de Argentina, las estructuras peridomésticas son las primeras en ser recolonizadas, manteniendo densas poblaciones de *T. infestans* y aumentando el riesgo de reinfestación doméstica (Cecere 1997, Cecere et al. 2002). En segundo lugar, la resistencia a los piretroides en triatominos se ha detectado en algunas áreas del norte de Argentina y el sur de Bolivia desde los años 90 y se ha relacionado con una desorganización en las actividades de control (Vassena et al. 2000, Picollo et al. 2005, Santo Orihuela et al. 2008, Toloza et al. 2008, Lardeux et al. 2010, Germano et al. 2010, Gurevitz et al. 2013, Pessoa et al. 2015, Echeverria et al. 2018). Los protocolos de control vectorial recomiendan que luego de la aplicación del insecticida, se continúe monitoreando regularmente la vivienda en busca de *T. infestans*, a este procedimiento se lo denomina vigilancia entomológica. La inspección periódica permite la detección temprana de nuevos focos de reinfestación en el intradomicilio (Gürtler et al. 1994, Almeida et al. 2000, Dumonteil et al. 2004, 2009, Moncayo & Silveira 2017). Sin embargo, la fase de vigilancia entomológica frecuentemente no se realiza o no se logra mantener a largo plazo, debido a dificultades operativas y económicas.

Para evaluar la infestación por *T. infestans* en el interior de la vivienda y sus alrededores, el procedimiento de búsqueda activa es considerado el método estándar para la detección y el control de la infestación de las viviendas (Gürtler 1999). Periódicamente se realizan evaluaciones entomológicas mediante la búsqueda manual durante un período de tiempo estandarizado (= método hora/hombre) y se procede al tratamiento químico de las viviendas siguiendo un protocolo particular en relación a diferentes factores, como los recursos humanos y económicos con los que se cuenta en cada campaña. Pese a su constante utilización, se reconoce que la metodología de búsqueda activa posee limitaciones por el tiempo acotado en que se realiza la colecta y porque algunos habitantes son reacios a permitir que el equipo de control busque dentro de sus viviendas. Además, su efectividad disminuye cuando hay baja densidad de insectos y varía en relación a la experiencia de los colectores (Schofield 1994, Gürtler 1999, Feliciangeli et al. 2007). El problema aumenta en áreas rurales de difícil acceso y alejadas de los centros urbanos donde no se garantiza una vigilancia periódica por los equipos de técnicos especialistas. Por tal motivo, se han desarrollado e implementado herramientas más sensibles para detectar focos de reinfestación, dirigidas a optimizar la vigilancia y control de triatominos. Se ha propuesto una participación más activa de la comunidad mediante la colecta de triatominos en las viviendas por parte de los propietarios en respuesta a las denuncias de presencia y control de las poblaciones de *T. infestans* (Bryan et al. 1994, Gürtler 1999, Dumonteil et al. 2009). La utilización de este método permite ampliar el tiempo de búsqueda y conseguir datos de infestación en el intradomicilio que muchas veces no son posibles de obtener con la búsqueda activa, por el tiempo limitado destinado a la misma. Además permite que la vigilancia entomológica sea relativamente constante aumentando la sensibilidad del resultado final (Dumonteil et al. 2009).

Particularmente, en la provincia de La Rioja, las actividades de control de *T. infestans* reanudaron su funcionamiento en 2005, luego de 15 años de actividades no sistemáticas, para obtener la cobertura de evaluación completa en el área (principalmente sur-este) y el control vectorial en las viviendas rurales, usando insecticidas piretroides. La evaluación de la infestación por *T. infestans* se lleva a cabo por las brigadas del PPCHLR mediante el método hora/hombre y la aplicación de insecticidas siguiendo diferentes protocolos de tratamiento considerando el nivel de infestación en la Localidad: (1) tratamiento químico completo en todo el área (infestación mayor a 5% de las viviendas) o (2) focalizado principalmente en las viviendas con presencia de *T. infestans* (menor a 5%) (Silveira et al. 2002). La detección de baja eficacia de los insecticidas piretroides aplicados sobre las estructuras peridomésticas (Porcasi et al. 2007), inició el desarrollo de métodos alternativos que fueron estudiados en condiciones de laboratorio y/o de campo para control de las

poblaciones de *T. infestans*. Entre ellos, modificaciones de estructuras peridomésticas, por ejemplo, reemplazo en los corrales tradicionales de las ramas entrelazadas de vegetación local por cercas de alambre y bloques de cemento (Gorla et al. 2013), pinturas con insecticidas de liberación gradual, aumentando la persistencia y reduciendo el peligro para otros organismos (Amelotti et al. 2009A) y el uso de formulaciones pour-on para el tratamiento de gallinas (Amelotti et al. 2009B).

Adicionalmente, como ya se mencionó, cada vivienda de La Rioja fue identificada en forma individual, permitiendo disponer de la información detallada sobre el estado de infestación y control químico en el tiempo. Los primeros registros de la infestación en el área corresponden a los Departamentos Belgrano y Chamental (parcialmente) en el año 2000 e informan de 70,5% de infestación (Gürtler et al. 2004). Durante 2004-2007 los registros del PPCHLR indicaron altos valores de infestación en los Departamentos que conforman Los Llanos (37,3% en general, 22,3% en el intradomicilio y 31% en el peridomicilio) y marcada dispersión de la infestación (74% de las Localidades) (Gorla et al. 2009). Para el caso particular de los Departamentos Ángel Vicente Peñaloza, San Martín y Rosario Vera Peñaloza los datos mostraron más de 50% de las viviendas con infestación entre 2006 y 2007 (Porcasi et al. 2007). En el sur de La Rioja las Localidades no se encuentran uniformemente distribuidas y la frecuencia de ocurrencia de la infestación puede no ser homogénea dentro del área. La integración de datos de infestación por *T. infestans* y las herramientas de análisis espacial permiten detectar agrupamientos (=conglomerados) de Localidades geográficamente cercanas y con infestación mayor o menor en comparación con el promedio regional y de esta forma estimar zonas de riesgo (Kulldorff 2006).

La última publicación científica sobre los datos de infestación corresponde al período 2004-2007 (Gorla et al. 2009). Por lo tanto, fue necesario actualizar los niveles de infestación en esta zona y verificar si las intervenciones sistemáticas, llevadas a cabo durante la última década, contribuyeron a disminuir la infestación por *T. infestans* en el sur de La Rioja. En el área, además se detectó riesgo de transmisión vectorial de la enfermedad de Chagas, principalmente en el Departamento San Martín con 11% de menores de 15 años con prueba serológica reactiva para *T. cruzi* (Porcasi et al. 2006). Sin embargo, no se cuenta actualmente con cifras que representen, de manera confiable, el riesgo de transmisión vectorial y la incidencia de personas infectadas con *T. cruzi*.

Por otro lado, desde 2008, el Gobierno de La Rioja desarrolla el Programa de “Erradicación de Viviendas Rancho” en todo el territorio provincial, cuyo objetivo, como ya se mencionó, fue la sustitución parcial de Viviendas Tradicionales y ranchos, por Viviendas Nuevas. En este contexto, es necesario evaluar el impacto de la instalación de Nuevas Viviendas en la infestación por *T. infestans* en el área.

Objetivo General

Actualizar la estimación de la prevalencia de infestación por *T. infestans* en viviendas de Los Llanos sur (La Rioja) y analizar las variaciones en la infestación en relación a la instalación de Nuevas Viviendas en el área.

Objetivos Específicos

1. Describir la infestación por *T. infestans* durante 10 años de seguimiento en Los Llanos riojanos con los datos proporcionados por el PPCHLR (período 2005-2015).
2. Evaluar la infestación por *T. infestans* en el sur de La Rioja, mediante la colecta por parte de los propietarios de las viviendas (período 2014-2017).
3. Detectar la ubicación de las áreas de mayor infestación luego de la instalación de Nuevas Viviendas y compararla con los últimos reportes en el área.
4. Comparar la infestación registrada en las diferentes tipologías de viviendas presentes en el área de estudio.
5. Evaluar la infestación por *T. infestans* mediante búsqueda activa y comparar los resultados obtenidos por diferentes métodos de colecta.
6. Estimar la infección por *T. cruzi* en los individuos de *T. infestans* colectados por diferentes métodos de colecta.

Hipótesis

Mecanismo: Las características que distinguen a *T. infestans* de otros triatominos son sus hábitos domésticos. Las poblaciones domiciliarias suelen alojarse en refugios provistos por los materiales de construcción, habitualmente en viviendas precarias construidas sobre la base de componentes orgánicos como el adobe y la jarilla. **Hipótesis:** Las Viviendas Nuevas no presentan grietas visibles en las paredes y por el tipo de material de construcción poseen menos condiciones de refugio para *T. infestans*. **Predicción:** La prevalencia de infestación por *T. infestans* será menor en las Viviendas Nuevas.

Parte de los datos de esta sección fueron publicados en PLOS One (Cavallo et al. 2018).

METODOLOGÍA

Datos de infestación estimados por diferentes métodos de colecta

A) Datos de infestación por *T. infestans* en el sur de la Rioja estimados a partir de los registros del Programa Provincial de Chagas de La Rioja (período de evaluación 2005-2015)

El detalle de la información individual de cada vivienda de Los Llanos riojanos ha sido digitalizado desde el año 2005 en una “Base de Datos del PPCHLR”, permitiendo realizar el seguimiento del impacto de las acciones de control vectorial. De esta forma, para cada evaluación, se cuenta con los datos de infestación en el intradomicilio y/o peridomicilio, cantidad y tipo de ejemplares recolectados, resultados de análisis de *T. cruzi* y tipo de insecticida aplicado. A partir de estos datos, en primer lugar, se realizó una descripción general de la infestación en el área de los Llanos para darle un contexto regional al estudio.

En segunda instancia, se analizó la infestación histórica (período 2005-2015) de las 397 viviendas seleccionadas para el presente estudio, para lo cual se eliminaron del análisis todas las viviendas que no correspondían a dicha muestra. Se agruparon los datos anuales en períodos de tiempo que garantizaran una cobertura de evaluación homogénea que supere el 50% del total de las viviendas incluidas en el estudio y donde estén representados los 3 Departamentos evaluados en este estudio (San Martín (SM), Rosario Vera Peñaloza (RVP) y Ángel Vicente Peñaloza (AVP). Los tres períodos comprenden “período 1”: datos 2006-2007-2008, “período 2”: datos 2009-2010-2011 y

“período 3”: datos 2014-2015. No se consideraron los años 2012-2013 porque no se evaluó el área. Dentro de cada grupo se consideró a la (1) vivienda positiva cuando al menos fue positiva en un año, (2) vivienda negativa cuando en ningún año evaluado se recolectó *T. infestans* y (3) vivienda no evaluada cuando no se visitó en ninguna fecha que incluía el período. Se comparó mediante odds ratio la infestación por *T. infestans* entre los períodos.

B) Datos de infestación estimados a partir de la colecta de *T. infestans* por la comunidad (colecta pasiva, período de evaluación 2014-2017)

Viviendas incluidas en el estudio

Se seleccionaron 397 viviendas distribuidas en 72 Localidades rurales de 3 Departamentos (SM, RVP y AVP), localizados en el extremo sur de Los Llanos, La Rioja. Estas Localidades fueron seleccionadas de acuerdo a lo explicitado en la sección de Metodología General.

El método de colecta de *T. infestans* con participación comunitaria fue descrito en el Capítulo II. Se realizaron análisis de estadística descriptiva y comparaciones entre los índices de infestación obtenidos.

En primer lugar la infestación y colonización se analizó en forma general y a nivel departamental, calculando los intervalos de confianza del 95% respectivos mediante el software estadístico R (v. 3.4.3) usando la función `binom.test`.

Análisis temporo-espacial de los datos

Para el análisis espacial, se agruparon los datos de los muestreos correspondientes a las colectas pasivas en años (tomando como base las 3 estaciones cálidas del período de estudio) que garantizaran una cobertura de evaluación homogénea y períodos de tiempos similares. Se consideró: “año 1”: datos de los muestreos Noviembre2014 - Febrero2015; “año 2”: datos de los muestreos Noviembre2015 - Febrero2016 y “año 3”: datos muestreo Noviembre2016 - Febrero 2017. En cada período se consideró la vivienda infestada o negativa, siguiendo los mismos criterios utilizados para el análisis temporal con los datos del PPCHLR. En primer lugar se realizó un análisis descriptivo de la infestación por Localidad. Posteriormente, se identificaron la ubicación de agregados (=cluster), definidos por grupos de viviendas con infestación significativamente mayor o menor en comparación con el promedio, es decir, el número de viviendas infestadas observadas en el cluster

es significativamente mayor (o menor) al número esperado (según la infestación promedio del área). Por último, se estimó el riesgo relativo de cada Localidad incluida en el conglomerado que indica cuántas veces mayor es la proporción de viviendas infestadas dentro de la Localidad en relación a las observadas en el cluster. El riesgo se estimó en función del número de viviendas positivas observadas en cada Localidad sobre el número de viviendas esperadas en todas las Localidades del cluster (Kulldorff 2006). El análisis se realizó usando el programa SaTScan (v. 9.4.4) para cada año, sobre todo el área, considerando como unidad de análisis la Localidad y seleccionando como distribución el modelo de Poisson, ya que el promedio y la varianza del número de viviendas positivas por Localidad (para los 3 años observados) fueron 0,68 y 1,02 respectivamente, dando una proporción de 1,499, suficientemente cercano a uno lo que valida trabajar con este modelo (asumiendo que los datos de infestación no se distribuyen al azar en la región analizada).

Análisis de infestación según la tipología de las viviendas

Se analizaron los datos de infestación estimados mediante la colecta realizada por los propietarios según la tipología de las viviendas. En primer lugar se ratificó si las Viviendas Nuevas presentaban infestación y colonización por *T. infestans*. A partir de estos datos se realizó la comparación entre la infestación de la Vivienda Nueva y la tradicional mediante odds ratio.

Como se mencionó, en el área de estudio no se detectaron casos donde la construcción de Viviendas Nuevas fuera acompañada de la erradicación de la Vivienda Tradicional. Se realizaron análisis descriptivos calculando los intervalos de confianza del 95% y comparaciones de proporciones entre los índices de infestación obtenidos de las **(1)** Viviendas Nuevas sin tradicional aledaña (construida en lugares donde previamente no existía Vivienda Tradicional), **(2)** viviendas conjunto (Viviendas Nuevas que presentaban anexada la Vivienda Tradicional a menos de 20 m) y **(3)** Viviendas Tradicionales.

C) Datos de infestación estimados por colecta activa (período de evaluación 2015-2016)

Como se mencionó en el Capítulo II, se realizaron 2 muestreos utilizando la metodología de búsqueda activa para analizar con mayor profundidad algunos aspectos del estudio. Cada uno de estos muestreos tuvo objetivos distintos, por lo cual el criterio de selección de las viviendas involucradas, en cada uno de ellos, fue diferente.

Análisis de datos de colecta activa de Marzo 2015: Considerando el estado previo de infestación reportado por los propietarios (colecta pasiva de Febrero 2015), se seleccionaron en forma aleatoria 40 viviendas que habían sido negativas (sobre un total de 262 viviendas) y 22 positivas (sobre 94 viviendas). Sobre este conjunto de 62 viviendas se realizó la colecta activa en intradomicilios y peridomicilios. Con los datos obtenidos de cada metodología se verificó **(1)** porcentaje de viviendas en las que el reporte de los propietarios fue similar al resultado de la colecta activa, **(2)** porcentaje de viviendas con *T. infestans* que el muestreo pasivo no detectó y **(3)** porcentaje de viviendas con *T. infestans* que el muestreo activo no detectó.

Análisis de datos de colecta activa de Marzo 2016: Del conjunto de 397 viviendas se seleccionaron de manera aleatoria 23 VN, 33 VT y 22 VT+VN distribuidas proporcionalmente a la cantidad de viviendas de cada Localidad. Sobre esta muestra de 78 viviendas se realizó la colecta activa. Como la selección de viviendas no estuvo dirigida al estado previo reportado por los propietarios, en primer lugar se analizaron los datos de infestación (intra y peridomiciliaria) y la colonización en el intradomicilio para obtener una estimación de la infestación actual del área mediante un muestreo diferente al pasivo. En segunda instancia, de las 78 viviendas se seleccionaron las que habían sido evaluadas por los propietarios en la colecta pasiva anterior (Feb 2016) y sobre éstas se calculó el grado de concordancia (mediante el índice Kappa de Cohen) entre los dos métodos de colecta (viviendas positivas y negativas en ambos/número total de viviendas evaluadas) (Watson & Petrie 2010). Se estimó la sensibilidad (proporción de viviendas infestadas que se identifican correctamente por el método de colecta activa) y la especificidad (proporción de viviendas no infestadas que se identifican correctamente por el método de colecta activa) (Renzo & Carlos 2005, Watson & Petrie 2010). Finalmente se compararon los datos de infestación y colonización en el intradomicilio mediante odds ratio (se realizó la prueba de chi cuadrado para verificar si las diferencias eran significativas) obtenidos según cada método de colecta.

Estimación de infección por *T. cruzi* en *T. infestans*

Se realizó la detección de *Trypanosoma cruzi* en material rectal de *T. infestans* (ninfas y adultos) capturados vivos (por ambos métodos de colecta) o que no presentaban condiciones de ayuno. Para la búsqueda de infección por *T. cruzi*, las muestras fecales fueron obtenidas por presión abdominal, diluidas en una gota de solución salina sobre un portaobjeto, cubierta con un cubreobjeto de 22 x 22 mm. y examinada a 400x.

RESULTADOS

Reseña de la infestación en Los Llanos según los registros del Programa Provincial de Chagas de La Rioja (período de evaluación 2005-2015)

Entre 2005 y 2007 se georeferenciaron 8416 viviendas en Los Llanos, durante 2014-2015 414 de ellas estaban deshabitadas probablemente por la migración de familias hacia zonas más pobladas. A excepción del Departamento San Martín, el análisis de datos del PPCHLR entre 2006 y 2015 indica que la evaluación en cada Departamento es en promedio cada 3-4 años. La cobertura de evaluación se mide como el porcentaje de viviendas evaluadas por Departamento (en relación al total de viviendas georeferenciadas) y depende de la disponibilidad de insumos y cantidad de personal técnico disponible, variando en un amplio rango entre 5% y el 80% del total del área en el período analizado. Con respecto al área total, la mayor cobertura fue en el año 2009 donde se evaluó el 85% de las viviendas y con representación en 7 Departamentos. Durante los años 2012 y 2013, no se realizaron evaluaciones entomológicas en los Departamentos de Los Llanos, ya que las brigadas se concentraron en el norte de la provincia (Departamentos Arauco, Castro Barros, Chilecito, General Lamadrid, Famatina, Coronel Felipe Varela, San Blas de los Sauces y Vinchina).

El Departamento con mayor infestación fue San Martín (datos de 2007, 2008 y 2010) con una infestación promedio de intradomicilio de 23,5% y para el peridomicilio de 49,5%. En el extremo opuesto, para General Belgrano (2005) la infestación en el intradomicilio fue de 1%, mientras que para el peridomicilio fue del 1,8% (53,2% de las viviendas evaluadas). La Infestación Intradomiciliaria en el área varía entre 1 y 20% (promedio de 10,7%), a excepción de lo mencionado para el Departamento de San Martín. La infestación en el peridomicilio fue mayor durante el año 2011, sin embargo es más variable entre los Departamentos y el año de evaluación, predominando entre 20% y 30% de infestación, con casos puntuales entre 40% y 50% (San Martín 2006-2007 y 2011) y más del 50% (San Martín 2008 y 2010) (Figuras 3.A y 3.B).

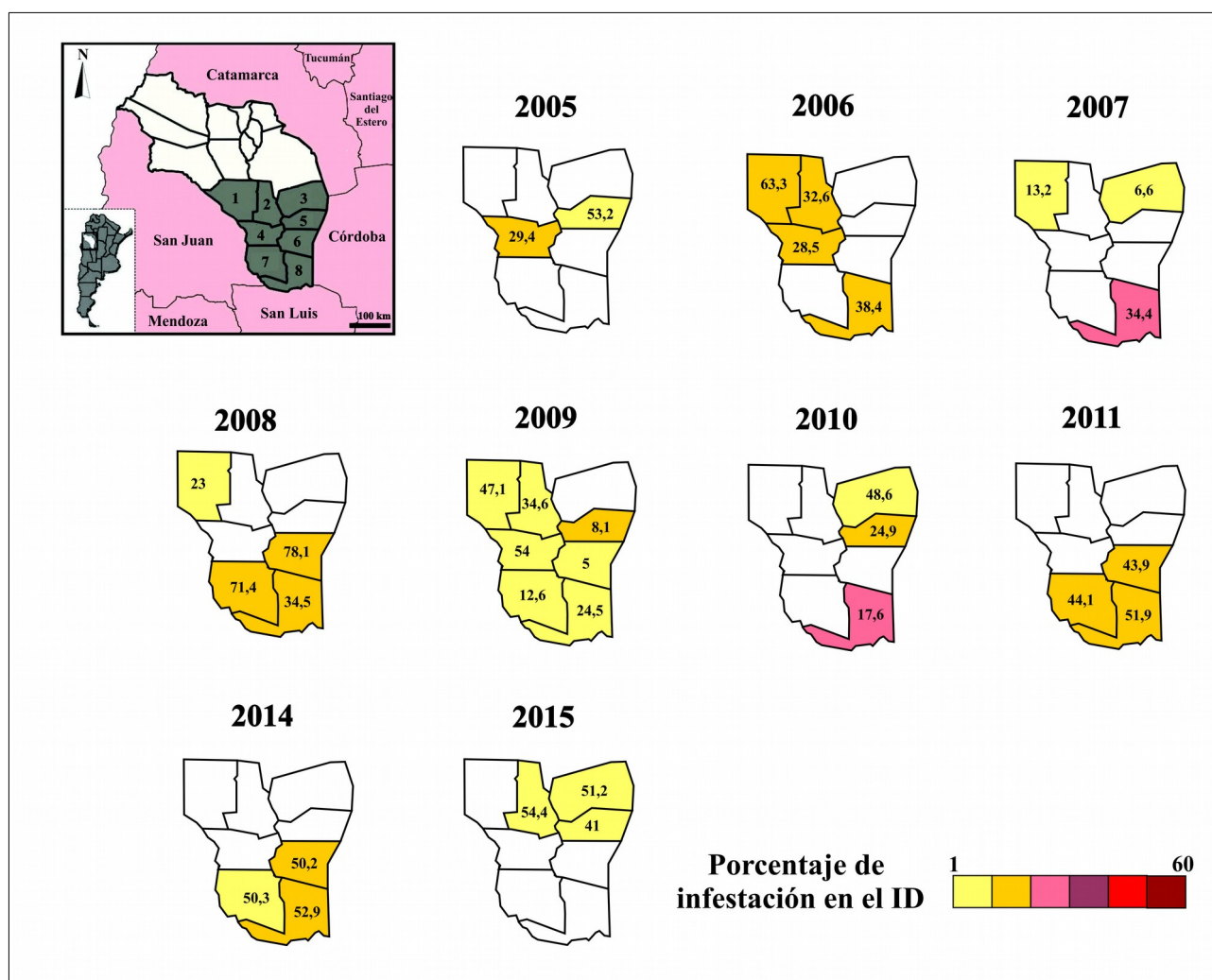


Figura 3.A. Infestación en el intradomicilio por *T. infestans* en los 8 Departamentos de Los Llanos (La Rioja) y cobertura de evaluación según los datos del PPCHLR (período 2005-2015). Área de estudio: Departamentos marcados en gris en el mapa general fueron considerados en este análisis: 1: Independencia, 2: Ángel Vicente Peñaloza, 3: Chamental, 4: Belgrano, 5: Juan Facundo Quiroga, 6: Ocampo, 7: Rosario Vera Peñaloza, 8: San Martín. Representación de la infestación en el intradomicilio (IID) por Departamento y año: Códigos de color: Amarillo pálido a rojo oscuro: porcentaje de infestación en el ID (ver barra de escalas), Blanco: sin datos específicos en el año. Número dentro de cada Departamento: cobertura de evaluación. Año 2012 y 2013 no se evaluaron los Departamentos en estudio.

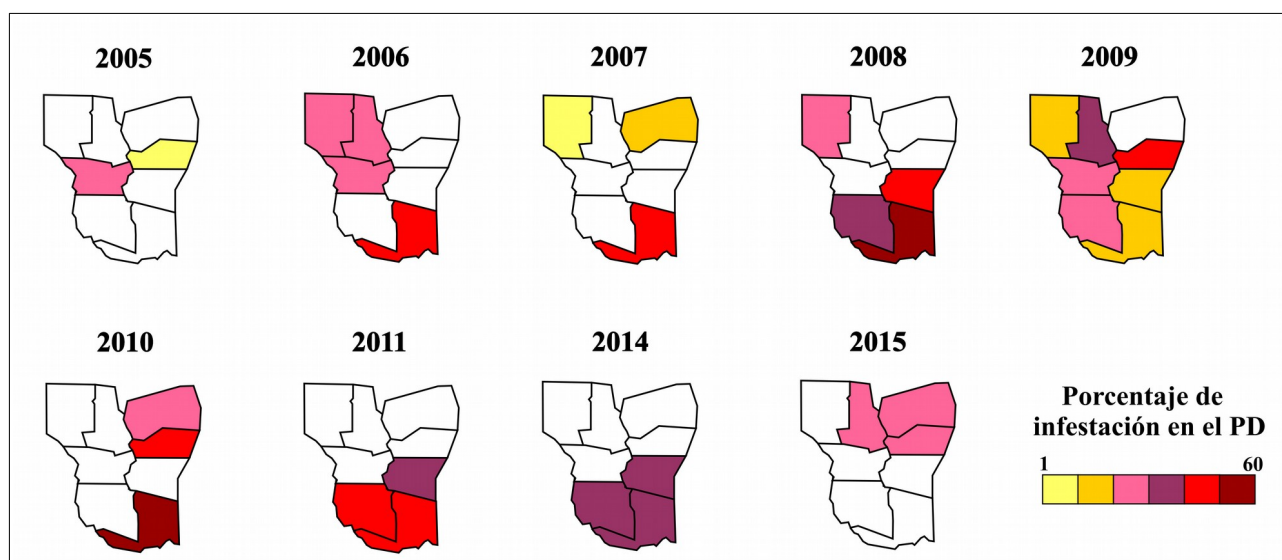


Figura 3.B. Infestación en el peridomicilio por *T. infestans* en los 8 Departamentos de Los Llanos (La Rioja) según los datos del PPCHLR (período 2005-2015). Representación de la infestación en el peridomicilio (IPD) por Departamento y año: Códigos de color: Amarillo pálido a rojo oscuro: porcentajes de viviendas con infestación en el PD (ver barra de escalas), Blanco: sin datos específicos en el año. Ver denominación de cada Departamento y cobertura de evaluación en la Figura 3.A.

Los análisis que se presentan a continuación se focalizaron en las 397 viviendas que conforman la muestra seleccionada para este estudio y que están ubicadas en los Departamentos San Martín, Rosario Vera Peñaloza y Ángel Vicente Peñaloza. Durante el período de estudio (2005-2015), la cobertura de evaluación en el área fue variando, desde años en que ninguna vivienda fue evaluada (2012) hasta años donde se evaluó el 47,6% de las viviendas (2014), predominando entre 1 y 3 evaluaciones por vivienda. Se localizó un grupo de viviendas (19,1% del total, entre nuevas y tradicionales) que no fueron evaluadas por el PPCHLR en el período de estudio. Adicionalmente, las intervenciones del PPCHLR se concentraron en el Departamento SM, mientras que en RVP y AVP se evaluó cada dos años.

Durante el año 2010, las evaluaciones de las viviendas por el personal del PPCHLR en AVP, RVP y SM estuvieron dirigidas a viviendas con denuncias de presencia de triatominos, por tal motivo los datos correspondientes a ese año no pueden utilizarse como estimador de infestación en la zona de estudio. En general, el 54,4% (216/397) de las viviendas fueron registradas como infestadas al menos una vez entre 2006 y 2015 (prevaleciendo Infestación Intradomiciliaria entre 9 y 25% e Infestación Peridomiciliaria entre 29 y 48%). La mayor Infestación Intradomiciliaria reportada en la zona fue en el año 2008 con 25,8% (Tabla 3.A).

Tabla 3.A. Infestación por *T. infestans* según los registros del PPCHLR para el área de estudio (período 2006-2015)

Fecha	Departamento	Número de viviendas evaluadas	IG% (IC95)	IID% (IC95)	IPD% (IC95)
2006	AVP, SM ¹	72	43,1 (31,6-55,2)	9,7 (4,3-19,6)	37,5 (26,6-49,7)
2007	SM ¹	57	49,1 (35,8-62,6)	14 (6,7-26,3)	47,4 (34,2-61)
2008	SM, RVP ²	151	56,3 (48-64,3)	25,8 (19,2-33,7)	48,3 (40,2-56,6)
2009	AVP,SM, RVP ¹	116	27,6 (19,9-36,8)	3,5 (1,1-9,1)	26,7 (19,1-35,9)
2010	SM ³	27	74,1 (53,4-88,1)	29,6 (14,5-50,3)	66,7 (46-82,8)
2011	SM, RVP ²	159	60,4 (52,3-68)	21,4 (15,5-28,7)	57,9 (49,8-65,6)
2014	SM, RVP ²	189	44,9 (37,8-52,4)	10,1 (6,3-15,5)	39,2 (32,2-46,5)
2015	AVP ²	58	32,8 (21,4-46,5)	6,9 (2,2-17,5)	29,3 (18,5-42,9)

Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. 1) Cobertura de evaluación total en el Departamento. 2) Cobertura de evaluación focalizada en viviendas previamente infestadas. 3) Cobertura de evaluación focalizada en viviendas con denuncias por parte de los propietarios. 2012 y 2013: evaluaciones se concentraron en el norte de la provincia de La Rioja. 2013: sólo 5 viviendas fueron evaluadas por denuncias de los propietarios en Rosario Vera Peñaloza, resultando todas negativas. IG: Infestación General (IID + IPD), en todos los casos: porcentaje (IC95: intervalo de Confianza 95%). IID: Infestación Intradomiciliaria. IPD: Infestación Peridomiciliaria. Número total de viviendas: 397.

Temporalmente la infestación por *T. infestans* se mantuvo constante entre 2006 y 2011 (infestación promedio de 57,8%, 22,1% en el intradomicilio y 53,7% en el peridomicilio) y disminuyó, al menos en las viviendas incluidas en este estudio, desde 2008 a 2015, de 24,8 a 9,3% en el intradomicilio (OR= 0,3 (0,2-0,5); p=4e-5) y de 52,4% a 36,8% (OR=0,5 (0,4-0,8); p=0,002) en el peridomicilio (Tabla 3.B). En el capítulo IV se discutirá en detalle los factores asociados a la infestación de las viviendas, para verificar si la disminución en los niveles de infestación se asocia con la construcción de las Viviendas Nuevas o el tratamiento químico que recibieron.

Tabla 3.B. Comparación de la infestación por *T. infestans* según los registros del PPCHLR para el área de estudio (período 2006-2015)

Período de evaluación	Cobertura de evaluación	IG% (IC95)	IID% (IC95)	IPD% (IC95)	Odds Ratio (IC95)
2006-2007-2008	52,9 (210)	58,1 (51,1-64,8)	24,8 (19,2 -31,3)	52,4 (45,4-59,3)	
2009-2010-2011	58,7 (233)	58,4 (51,7-64,7)	19,3 (14,6 -25,1)	54,9 (48,3-61,4)	IG: 1 (0,7-1,5);p=1 IID: 0,7 (0,5-1,1);p=0,2 IPD: 1,1 (0,8-1,6);p=0,7
2014-2015	62,2 (247)	42,1 (35,9-48,5)	9,3 (6,1-13,8)	36,8 (30,9-43,2)	IG: 0,5 (0,4-0,8);p=0,002* IID: 0,3 (0,2-0,5);p=4e-5* IPD: 0,5 (0,40,8);p=0,002*

Cobertura de evaluación: porcentaje (Número (N°) viviendas evaluadas/N° viviendas totales)*100, entre paréntesis número de viviendas evaluadas. IG: Infestación General (IID + IPD), en todos los casos: porcentaje (IC95: intervalo de Confianza 95%). IID: Infestación Intradomiciliaria. IPD: Infestación Peridomiciliaria. Odds ratio: Base de comparación 2006-2007-2008.* Diferencias significativas. N° total de viviendas: 397.

Datos de infestación estimados a partir de la colecta de *T. infestans* por la comunidad (colecta pasiva, período de evaluación 2014-2017)

Como se mencionó previamente, 397 familias recibieron capacitación y aceptaron voluntariamente participar en la colecta de triatominos en su vivienda. Se evaluaron un 80,6% (320/397) de las viviendas en 4 o más muestreos, recuperando la bolsa indistintamente de contener o no material. El 38,4% de las viviendas (123/397) fue evaluada en los 6 muestreos (Figura 3.C).

Se identificaron 8 especies de triatominos recolectados por los propietarios mediante el método de colecta pasiva: *Triatoma infestans*, *T. garciabesi*, *T. guasayana*, *T. eratyrusiformis*, *T. platensis*, *T. breyeri*, *T. delpontei* y *Panstrongylus guentheri*. En todos los muestreos, *T. infestans* fue la especie más frecuente. El detalle de las especies distintas a *T. infestans* será expuestos en el Capítulo VI.

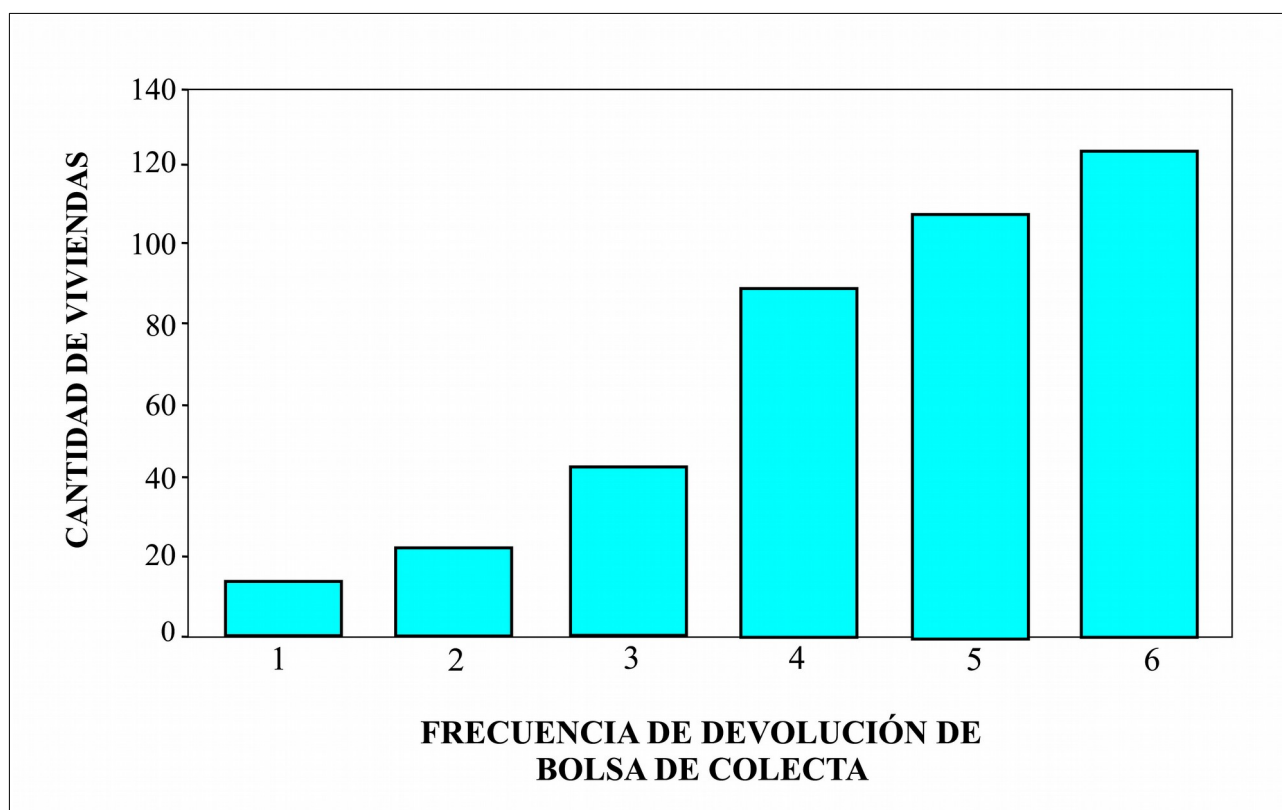


Figura 3.C. Número de viviendas en las que se recuperó la bolsa de colecta (sin distinguir presencia/ausencia de *T. infestans* en su interior, colecta pasiva). El último caso “6” representa las viviendas que pudieron ser evaluadas en todos los muestreos realizados.

En la Figura 3.D se detallan los datos de infestación y colonización por *T. infestans* estimado en cada colecta pasiva entre 2014 y 2017 (Intervalo de confianza de infestación en Tabla Anexa 3.B). En todos los muestreos se evaluó la mayor cantidad de viviendas posibles, sin embargo el número varió por razones de accesibilidad o por encontrarse cerrada al momento de la visita (cobertura de evaluación por muestreo en Tabla Anexa 3.C). La mayor cobertura de evaluación de las viviendas fue en Noviembre2014, donde se analizó el 85,9% del área de estudio. Con el método de colecta pasiva, se estimó que el 43,8% (174/397) de las viviendas se encontraron infestadas y un 12,1% (48/397) colonizadas en el intradomicilio, al menos una vez entre Noviembre2014 y Febrero2017. Aunque se observó una tendencia de disminución en la infestación desde Noviembre2014 (21,4% de infestación) a Febrero2017 (11,1%), la misma se mantuvo constante a partir del muestreo de Febrero2015, con una infestación promedio de 12,7%. En general, los propietarios informaban como sitio de colecta principal el interior de la vivienda. A excepción del último muestreo (Febrero2017), algunos de los pobladores no confirmaron con exactitud el sitio de procedencia de los insectos colectados. Estos datos sólo se consideraron para el análisis de Infestación General. Los

resultados de IID e IPD incluyen el total de las viviendas, sin dividir por aquellas en las que se recolectó triatominos en ambos sitios de colecta (Figura 3.D). En algunas situaciones se colectaron *T. infestans* luego del tiempo estipulado de búsqueda (dos semanas desde la entrega y colecta de bolsa de material), estas entregas adicionales de insectos no se consideraron en este estudio, y sólo se notificaba al PPCHLR para que registre el dato de presencia.

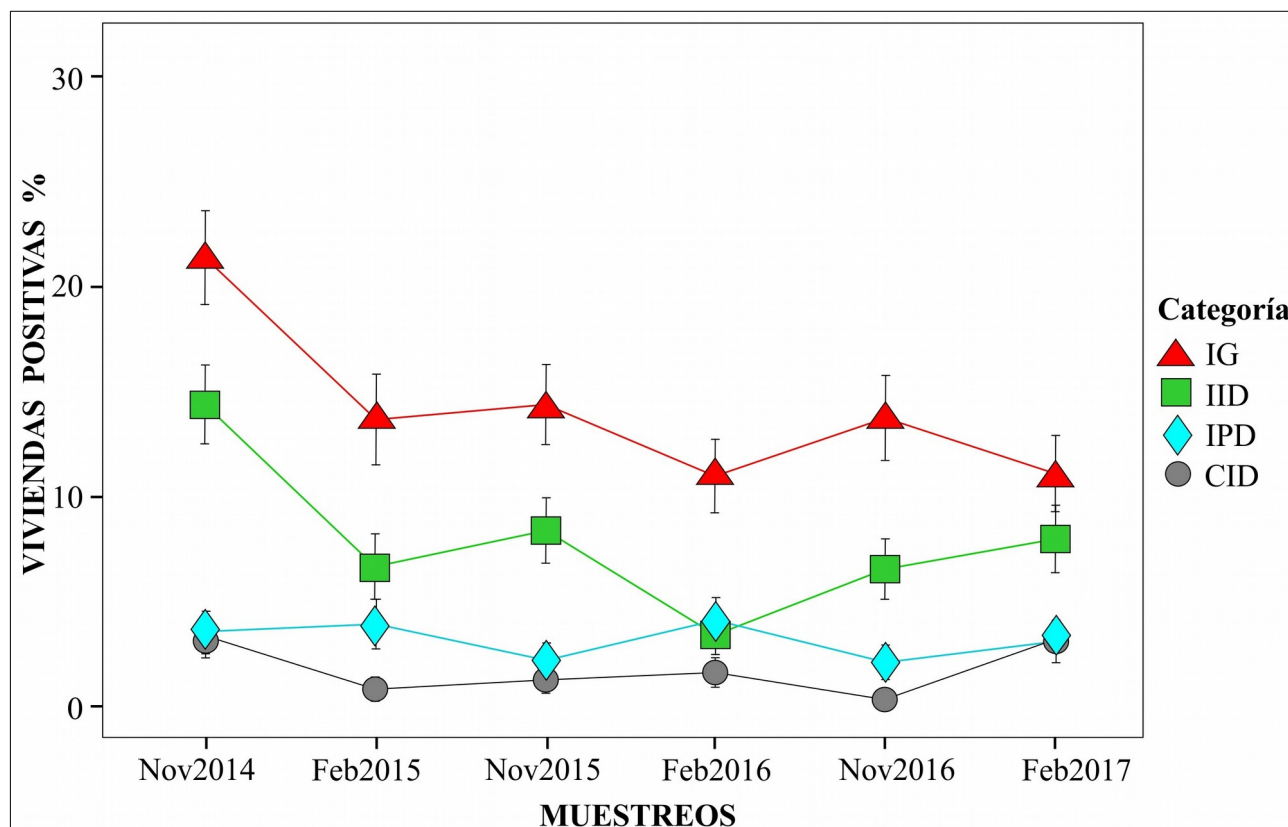


Figura 3.D. Infestación y colonización en el intradomicilio por *T. infestans* estimado por método de colecta pasiva en el área de estudio. IG: Infestación General (IID + IPD). IID: Infestación Intradomiciliaria. IPD: Infestación Peridomiciliaria. CID: Colonización en el Intradomicilio. Las fechas corresponden a cada muestreo de colecta pasiva. En Tabla Anexa 3.C cobertura de evaluación por muestreo.

La mayoría de los insectos colectados por los propietarios fueron adultos (67,7%). En las viviendas positivas, se encontraron hasta 17 ninfas y 9 adultos de *T. infestans* en un intradomicilio (siendo la abundancia más frecuente 2 individuos por vivienda). En la Tabla 3.C se detalla la abundancia de insectos para cada muestreo. Se colectaron un total de 785 especímenes de *T. infestans* a lo largo de los 6 muestreos, siendo la mayor colecta en Noviembre2014. La abundancia de cada muestreo es sólo descriptiva en esta investigación, ya que no se puede garantizar un esfuerzo de captura idéntico entre los propietarios.

Tabla 3.C. Abundancia de *T. infestans* por método de colecta pasiva

Fecha	Machos	Hembras	Ninfas Jóvenes (N1,N2)	Ninfas Colonizadoras (N3,N4,N5)
Nov2014	75	92	18	48
Feb2015	38	31	28	28
Nov2015	33	29	6	5
Feb2016	31	44	12	32
Nov2016	42	50	16	13
Feb2017	29	33	7	45

Fecha: corresponde a cada colecta pasiva. N: estadio de las ninfas de *T. infestans*.

En la Figura 3.E se especifica la infestación por Departamento en cada muestreo (detalle en Tabla Anexa 3.A). Según los datos reportados por los propietarios, el Departamento con mayor infestación fue RVP durante Noviembre2016 con 29% de infestación (13,3% en el intradomicilio). En el extremo opuesto, la menor infestación fue en AVP en Febrero2017 con 1,2%. A nivel general, durante Noviembre2014, SM y RVP mostraron una infestación promedio de 23,1%, disminuyendo hacia Febrero2015. En el caso particular de SM desde Noviembre2016 hasta el final del muestreo, la infestación se mantuvo constante (con un promedio de 7,3%). AVP fue el Departamento con menor infestación, con valores menores a 17% en los muestreos realizados.

A nivel departamental la Infestación Peridomiciliaria no se consideró ya que los propietarios buscaban en mayor medida dentro de las viviendas. Con respecto a la Infestación Intradomiciliaria, AVP presentó una tendencia decreciente durante todo el estudio, comenzando con 7% y no encontrando viviendas infestadas en el ID en el último periodo. Los Departamentos de RVP y SM mostraron una infestación intradoméstica cambiante (promedio de 9,9%) durante el período analizado (Tabla Anexa 3.A).

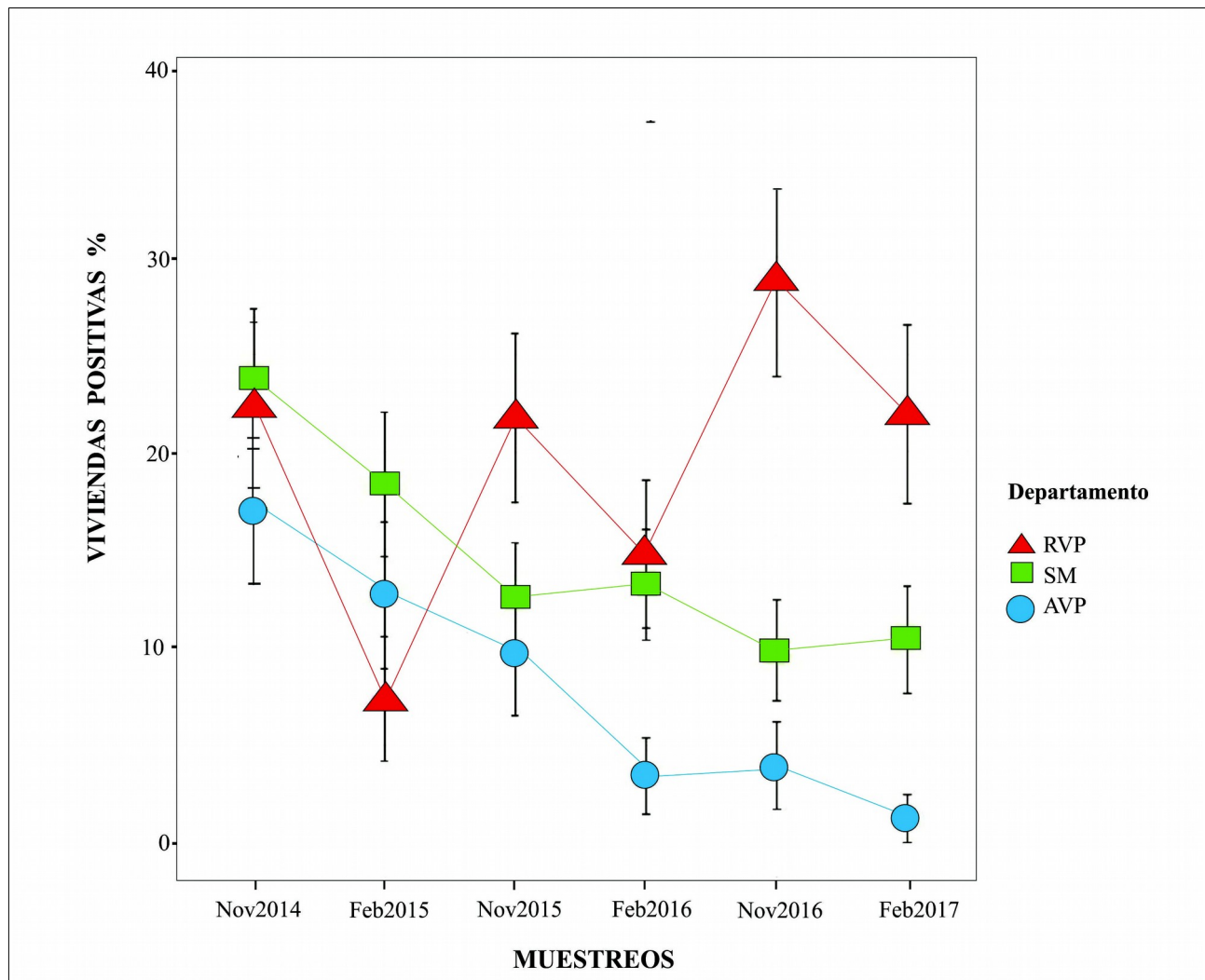


Figura 3.E. Infestación por *T. infestans* por Departamento estimado por método de colecta pasiva. Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. Las fechas corresponden a cada muestreo de colecta pasiva.

Análisis Temporo-espacial de los datos

El análisis espacial de la infestación se realizó agrupando los muestreos en las 3 estaciones cálidas del período de estudio. La infestación a nivel de Localidad, en el área de estudio, fue espacialmente heterogénea y altamente dispersa. Las colectas pasivas revelaron que 94,4% de las Localidades evaluadas estaban infestadas, al menos una vez, dentro del período de estudio. La Figura 3.F muestra las Localidades que presentaron más del 60% de las viviendas con infestación en el intradomicilio, muchas de las cuales permanecieron infestadas durante todo el período de estudio. Estas Localidades pertenecían al Departamento de SM (datos correspondientes al primer año de estudio) y a SM y RVP (para el segundo y tercer año).

Durante los dos primeros años no se encontró evidencia de una agregación marcada para la infestación. En contraste, durante el tercer año (Noviembre2016 - Febrero2017) se identificaron zonas de alta infestación conformadas por Localidades de los Departamentos de SM y RVP y de baja infestación en AVP. Durante este periodo, la Infestación General para el área evaluada fue de 19%. Se identificaron tres clusters (=agrupaciones) en el área (Figura 3.G; a): el primer cluster con una infestación del 54,2% (mayor de la esperada, $p < 0,001$, riesgo relativo de 4) abarcó 8 Localidades (con 35 viviendas) con un radio de 24,9 km centrado en $31,71^\circ$ sur (S), $66,62^\circ$ oeste (O); el segundo cluster con una infestación del 60% (mayor de la esperada, $p = 0,0002$, riesgo relativo de 4,2) formado por 8 Localidades (con 25 viviendas) con un radio de 19,6 km centrado en $31,86^\circ$ S, $65,94^\circ$ O y el tercer cluster con una infestación de 2,7% (menor de la esperada $p = 0,0001$, riesgo relativo de 0.1) con 5 Localidades con 113 viviendas con un radio de 24,9 km centrado en $30,54^\circ$ S, $66,65^\circ$ O. Los riesgos relativos mayores a 1 indican un número mayor de viviendas infestadas de las esperadas en la Localidad.

Con respecto a la Infestación Intradomiciliaria, el análisis espacial mostró agregación durante el tercer año y se detectaron dos grupos geográficos con diferencia significativa. Durante este período la Infestación Intradomiciliaria promedio para el área evaluada fue de 10,2%. El primer cluster significativo incluyó 113 viviendas en 5 Localidades dentro del Departamento de AVP (radio: 24,9 km centrado en $30,65^\circ$ S, $66,67^\circ$ O) y no se encontraron viviendas con IID ($p < 0,001$, riesgo relativo de 0). El segundo cluster comprendía 161 viviendas en 43 Localidades, mostraron una infestación ID de 19,9% (mayor de la esperada, $p < 0.001$, riesgo relativo de 5,7) y con un radio de 41,4 km, centrado en $31,58^\circ$ S, $66,51^\circ$ O (Figura 3.G; b). Este grupo comprende las Localidades de los Departamentos de SM y RVP. Al analizar la heterogeneidad espacial usando sólo las Localidades incluidas en los Departamentos de RVP y SM, se encontró un cluster de alta infestación con una IID

de 48% ($p=0,035$, riesgo relativo = 4,04) que incluyó 25 viviendas en 7 Localidades dentro de un radio de 19,6 km, centrado a 31,66° S, 66,20° O (Figura 3.G; c).

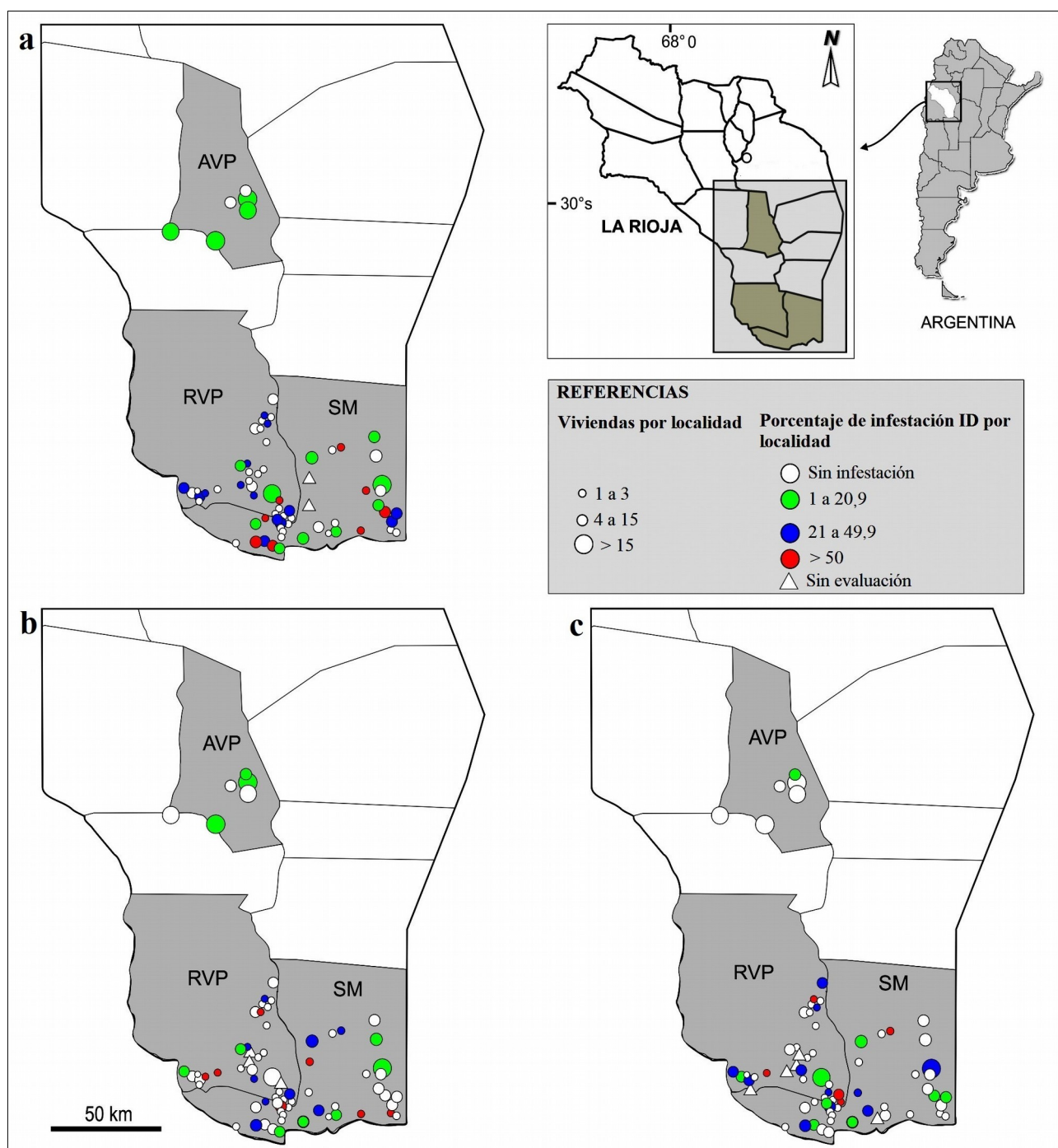


Figura 3.F. Infestación de *T. infestans* por Localidad estimada mediante colecta pasiva. Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. **a:** Datos correspondientes al Año 1 (Noviembre2014 a Febrero2015). **b:** Datos correspondientes al Año 2 (Noviembre2015 a Febrero2016). **c:** Datos correspondientes al Año 3 (Noviembre2016 a Febrero2017).

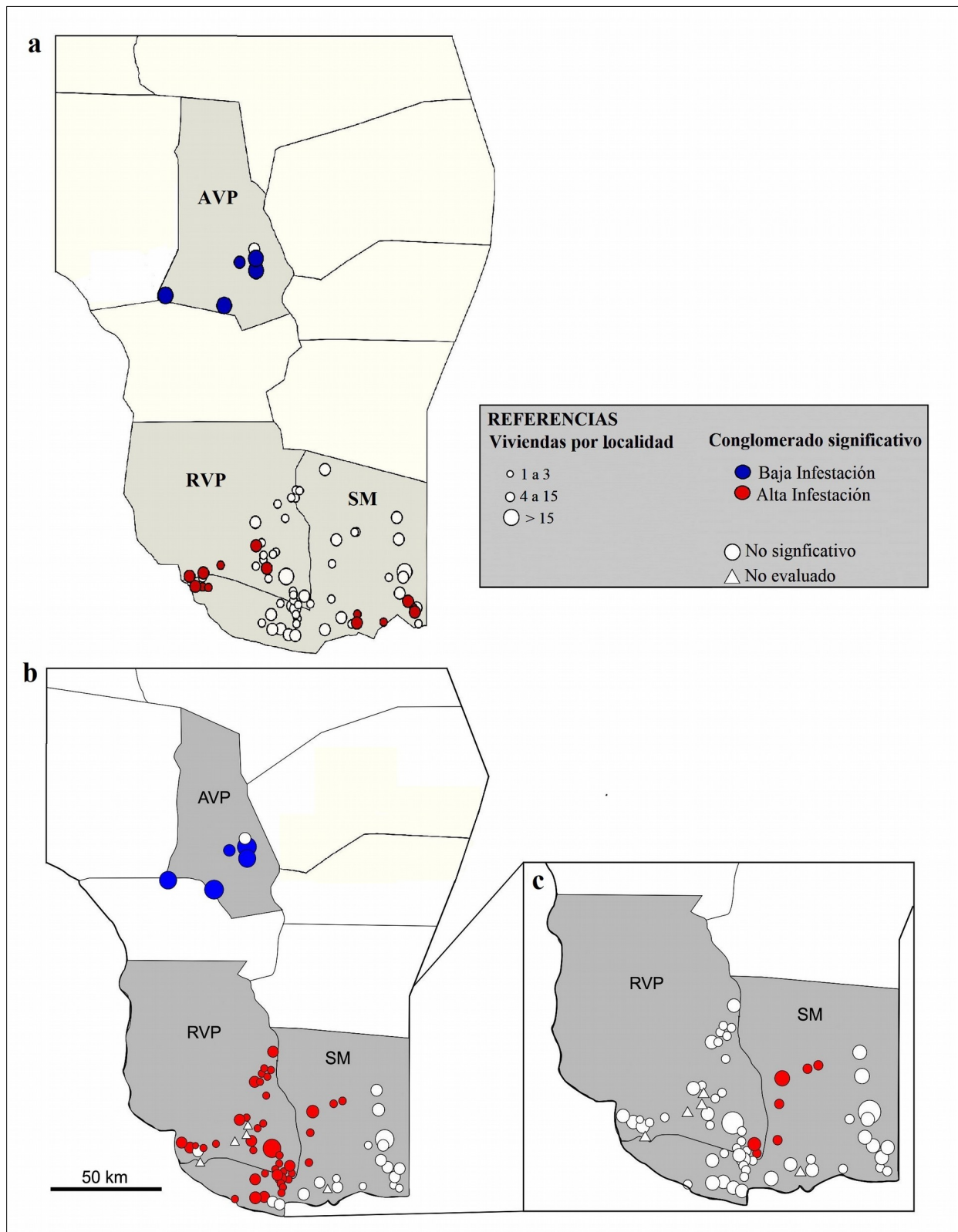


Figura 3.G. Distribución espacial de los cluster de baja y alta infestación correspondientes al año 3 dentro del período de estudio (Noviembre2016 a Febrero2017). Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. **a:** Datos correspondientes a la Infestación General. **b:** Datos correspondientes a la Infestación Intradomiciliaria. **c:** Datos correspondientes a la Infestación Intradomiciliaria sólo de las Localidades de SM y RVP.

Infestación según la tipología de las viviendas

Se encontró un 44,1% de las Viviendas Nuevas con infestación para *T. infestans* (75/170 VN, de las cuales 38 no contaban con la Vivienda Tradicional) y un 13,5% colonizadas (23/170 VN, 11 sin Vivienda Tradicional aledaña) en al menos un muestreo durante el período de estudio.

Se registraron 25 Viviendas Nuevas con infestación reiterada en los muestreos. Únicamente en 2 Viviendas Nuevas los propietarios registraron ninfas en el intradomicilio en más de un muestreo. No se encontraron Viviendas Nuevas que en los 6 muestreos presentaran infestación (o colonización) por *T. infestans* (Tabla 3.D). La comparación entre la infestación entre tipología de viviendas (VN vs VT en cada muestreo) no mostró diferencias significativas (Tabla 3.E).

Se observó que la localización de estas viviendas no mostraban un patrón de distribución agregado en el área de estudio y se distribuyen de forma aleatoria en los 3 Departamentos.

La Figura 3.H muestra el porcentaje de infestación dividiendo los datos entre las Viviendas Nuevas y las Viviendas Conjunto vs Vivienda Tradicional. A nivel descriptivo, el mayor número de viviendas con *T. infestans* corresponden a las Viviendas Tradicionales y Viviendas Nuevas Conjunto, donde los niveles de infestación estimados por la colecta de los propietarios son similares. Lo mismo ocurre al analizar la colonización. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas para los niveles de infestación entre las viviendas analizadas (Tabla Anexa 3.D).

Tabla 3.D. Frecuencia de Viviendas Nuevas con infestación y colonización por *T. infestans* (colecta pasiva, período 2014-2017)

Tipo de vivienda	Frecuencia	Viviendas con Infestación	Viviendas con Colonización
VN (Total: 93)	1	28	11
	2	5	sc
	3	3	sc
	4	2	sc
VT + VN (Total: 77)	1	22	11
	2	11	1
	3	3	sc
	4	1	sc

VN: Vivienda Nueva. VT + VN: Vivienda Conjunto. VT: Vivienda Tradicional. sc: sin casos

Tabla 3.E. Infestación y colonización por *T. infestans* estimado por método de colecta pasiva según el Tipología de Vivienda

Fecha	Tipología	Evaluación ¹	Infestación %	Odds ratio (IC) ²	Colonización %	Odds ratio (IC) ³
Nov2014	VT	188	23,4	0,77 (0,45-1,29)	4,8	0,05 (0,01-0,15)
	VN	153	18,9		5,9	
Feb2015	VT	155	14,2	0,89 (0,42-1,86)	3,9	0,98 (0,27-3,56)
	VN	101	12,9		2,2	
Nov2015	VT	178	15,2	0,85 (0,45-1,6)	2,3	1,63 (0,30-9,04)
	VN	144	13,2		1,4	
Feb2016	VT	169	10,7	0,94 (0,47-1,90)	4,8	1,83 (0,54-6,20)
	VN	151	11,3		2,7	
Nov2016	VT	157	12,8	1,20 (0,62-2,34)	1,9	sc
	VN	134	14,9		sc	
Feb2017	VT	162	11,1	1,00 (0,48-2,12)	4,0	0,97 (0,27-3,41)
	VN	127	11,0		3,9	

Fecha: corresponde a cada colecta pasiva. Tipología de vivienda: VN: Vivienda Nueva, VT: Vivienda Tradicional. 1: número de viviendas evaluado por Tipología de Vivienda. 2) Datos de infestación. 3) Datos de colonización. sc: sin casos.

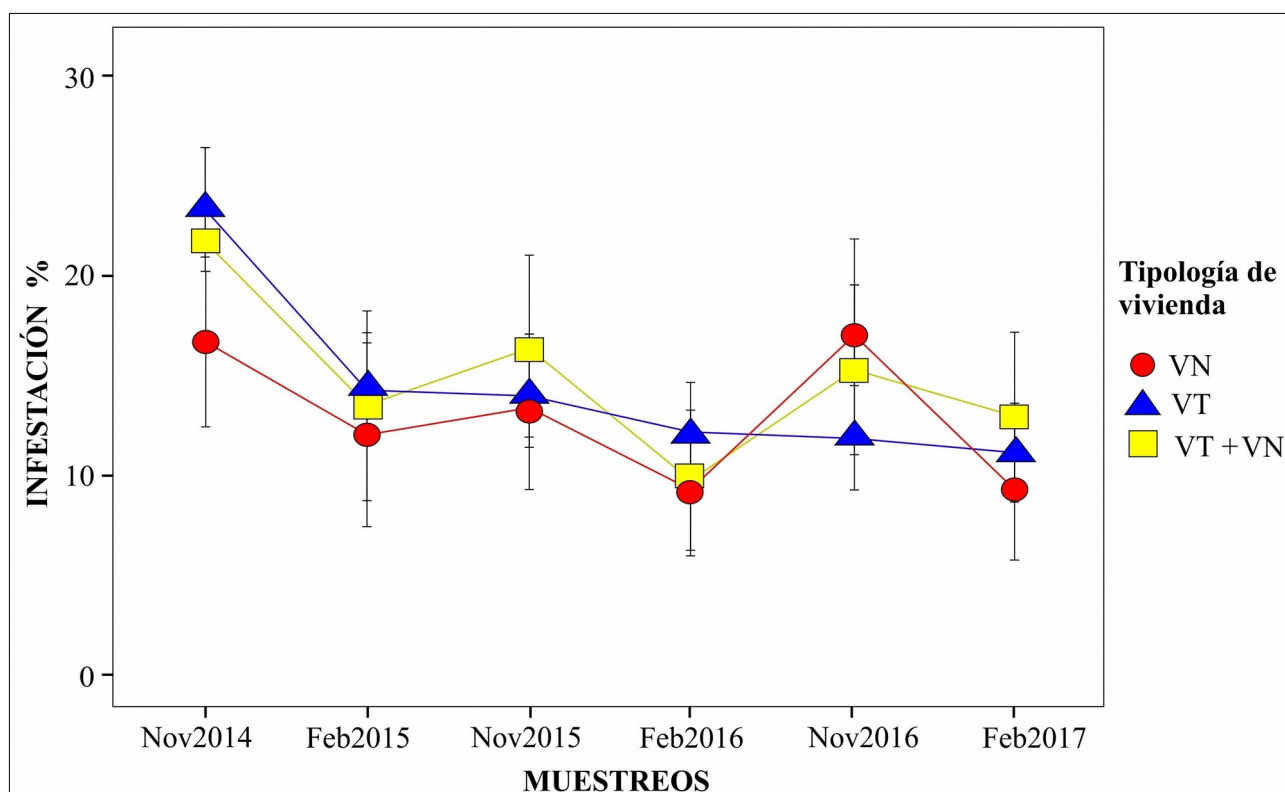


Figura 3.H. Infestación por *T. infestans* estimada por método de colecta pasiva según la Tipología de vivienda. VN: Vivienda Nueva . VT: Vivienda Tradicional. VT + VN: Vivienda Conjunto. Las fechas corresponden a cada muestreo de colecta pasiva.

Datos de infestación estimados por colecta activa (período de evaluación 2015-2016)

Como se mencionó en el apartado de Metodología, las viviendas evaluadas por muestreo activo corresponden a submuestras del total de 397 viviendas según el objetivo a analizar.

Datos de colecta activa de Marzo 2015:

A continuación se detalla la condición entomológica de la vivienda informada por los propietarios en comparación con lo encontrado por colecta activa en esa misma vivienda. Un 43,5% de las viviendas evaluadas por colecta activa corroboraron el resultado de la colecta pasiva (18 viviendas infestadas y 9 negativas para ambas metodologías) (Tabla 3.F). Por otro lado, la mayoría de las viviendas positivas por metodología activa, cuyos propietarios no habían reportado presencia de *T. infestans*, estaban infestadas en el peridomicilio (58,6%).

Con respecto a la colonización en el intradomicilio, el 80,6% de las viviendas que se identificaron como no colonizadas por el método de colecta activa, coincidieron con lo reportado por los propietarios. Sin embargo, no se registraron viviendas positivas por ambos métodos de colecta. En relación al intradomicilio negativo según los propietarios y positivo cuando se realizó la búsqueda activa, se verificó que el 16% correspondían a la presencia de estadios ninfales de *T. infestans* que no habían sido identificados por los propietarios (Tabla 3.G).

Tabla 3.F. Tabla de contingencia de la Infestación General de las viviendas evaluadas por colecta pasiva y activa (Febrero - Marzo 2015 respectivamente)

		Datos de colecta activa		
Datos de colecta pasiva		+	-	Estimación de la infestación por colecta pasiva (%)
	+	18	4	35,5
	-	31	9	64,5
	Estimación de la infestación por colecta activa (%)	79	21	

Infestación General: Infestación Intradomiciliaria + Infestación Peridomiciliaria. +: viviendas con *T. infestans*. -: sin infestación. Número de viviendas evaluadas: 62.

Tabla 3.G. Tabla de contingencia de la colonización en el intradomicilio de las viviendas evaluadas por colecta pasiva y activa (Febrero - Marzo 2015 respectivamente)

		Datos de colecta activa		
Datos de colecta pasiva		+	-	Estimación de la infestación por colecta pasiva (%)
	+	0	2	3,2
	-	10	50	96,8
	Estimación de la infestación por colecta activa (%)	16,1	83,9	

+: viviendas con *T. infestans*. -: sin infestación. Número de viviendas evaluadas: 62.

Datos de colecta activa de Marzo 2016

Particularmente con los datos correspondientes a la colecta activa de marzo 2016, se encontró una Infestación General del área de estudio de 69,2%, siendo la infestación en el peridomicilio mayor que en el intradomicilio (64,1% vs 20,5% respectivamente, $p<0,01$).

Las 78 viviendas evaluadas por búsqueda activa habían sido registradas por los propietarios en la colecta pasiva anterior (Febrero 2016). La concordancia usando el índice Kappa en relación al estado reportado por los propietarios resultó de 42,2% (viviendas positivas para ambas metodologías). La sensibilidad en el intradomicilio (proporción de viviendas infestadas que se identificaron correctamente por el método de colecta activa) resultó el doble que para el peridomicilio. El 93% de las viviendas informadas no infestadas por los propietarios fueron corroboradas por el método de colecta activa (Tabla 3.H).

No se encontraron diferencias significativas en la Infestación Intradomiciliaria reportada por ambas metodologías (20,5 vs 14,1% respectivamente, $OR=0,63$; 95% IC= 0,27 – 1,48; $\chi^2=0,7$; $df=1$; $p=0,4$). La infestación reportada en el peridomicilio y la colonización en el intradomicilio resultó ser menor con la colecta pasiva (IPD: $OR=0,11$; 95% IC=0,05 – 0,24; $\chi^2= 34,5$; $df=1$; $p<0,01$; colonización en el intra: $OR=0,07$; 95% IC=0,02 – 0,16; $\chi^2=43,1$, $df=1$; $p<0,01$). La colonización en el intradomicilio resultó siete veces mayor cuando se estimó por colecta activa en comparación con los datos obtenidos por colecta pasiva (60,3 vs. 8,9% respectivamente).

Tabla 3.H. Estadísticas comparativas de infestación y colonización por métodos de colecta activa y pasiva (Febrero - Marzo 2016)

Dato	IID% (IC95)	IPD% (IC95)	C% (IC95)
Colecta activa	20,5 (11,5-29,5)	64,1 (53,5-74,7)	60,3 (49,4-71,1)
Colecta pasiva	14,1 (6,4-21,8)	16,7 (8,4-25,0)	8,9 (2,6-15,3)
Índice de Kappa	42,2 (1,6)	20,1 (1,1)	7,8 (1,1)
Sensibilidad	43,7	26	12,8
Especificidad	93,5	100	96,8

Dato: Colecta pasiva y activa: en todos los casos: Porcentaje (IC95: intervalo de Confianza 95%). Índice de Kappa: (Error estándar). IID: Infestación Intradomiciliaria. IPD: Infestación Peridomiciliaria. C: Colonización. Número de viviendas evaluadas: 78.

Como la búsqueda de triatominos durante la colecta activa se realizó con personal entrenado, en un tiempo determinado, los resultados de Infestación Peridomiciliaria permitieron analizar la abundancia en los distintos ecotopos. En general, los sitios predominantes de colecta fueron el gallinero, corral tradicional y el intradomicilio, sin embargo, se encontró mayor abundancia media de *T. infestans* en corral, cucas de perro y depósitos (Tabla 3.I).

Tabla 3.I. Sitio de colecta y abundancia de *T. infestans* estimado por colecta activa

Fecha	Marzo 2015				Marzo 2016			
Tipo de estructura	N.º Eval.¹	Posit.²	Ab.³	mín.-max.⁴	N.º Eval.¹	Posit.²	Ab.³	mín.-max.⁴
Gallinero	34	29	103	5-25	32	26	220	2 -39
Corral de cabras	11	10	21	2-8	34	30	186	1 -94
Depósito	9	8	31	2-15	16	12	133	4 -28
Cluequera	0	0	0	0	4	4	58	8-15
Cucha de perros	2	2	7	3-4	3	3	38	12-14
Intradomicilio	62	31	41	1-3	78	16	22	1-7
Palomar	0	0	0	0	1	1	5	5

1: Número de estructuras evaluadas. 2: Número de estructuras positivas (con infestación por *T. infestans*). 3: Abundancia por estructura (no se distingue entre ninfas y adultos de *T. infestans*). 4: Abundancia mínima y máxima por estructura. Número de viviendas evaluadas: Marzo2015:62, Marzo2016: 78.

Datos de infección natural por *T. cruzi*

Durante el período de estudio y combinando los resultados de la colecta pasiva y activa, se recolectaron, indistintamente del estadio correspondiente, un total de 1650 especímenes de *T. infestans*. De estos, se pudieron realizar los análisis de *T. cruzi* a 912 individuos, que tenían suficiente sangre para detectar la presencia de parásitos. Se detectaron 5 insectos infectados (4 adultos y una ninfa de quinto estadio) recolectados con diferentes metodologías (Tabla 3.J).

Tabla 3.J. Datos de las viviendas donde se colectó *T. infestans* infectado con *Trypanosoma cruzi*

Fecha	Departamento	Localidad	Método de colecta	Abundancia/n	Lugar de colecta	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)
Nov2014	San Martín	San Solano	Pasivo	2 adultos / 8	ID	31,48°	65,92°
Feb2016	Rosario Vera Peñaloza	Totoral	Pasivo	1 adulto / 4	ID	31,71°	66,40°
Marzo2016	San Martín	Balde de la Viuda	Activo	1 ninfa (5° estadio) / 31	ID	31,84°	66,47°
Marzo2016	San Martín	La Reserva	Activo	1 adulto / 15	PD	31,85°	66,09°

n: Total de *T. infestans* (ninfas + adultos) por vivienda. ID: Intradomicilio. PD: Peridomicilio.

ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

Para el caso particular de los Departamentos del área de estudio, los datos de infestación mostraron más del 50% de las viviendas infestadas entre 2006 y 2007 (Porcasi et al. 2007). La infestación disminuye hacia 2014-2015, registrándose 10,3% de Infestación Intradomiciliaria y 33,1% peridomiciliaria. Los análisis específicos, focalizados en las 397 viviendas que conforman la muestra seleccionada para este estudio, mostraron una disminución significativa de la infestación a través del tiempo en el intradomicilio, a partir del registro de datos de PPCHLR (Tabla 3.B). Sin embargo, no se ha logrado eliminar la presencia de *T. infestans* luego de una década de actividades sistemáticas de control vectorial, principalmente por medio del Tratamiento Químico efectuado por las brigadas del PPCHLR (Figura 3.A).

El método de colecta pasiva permitió una buena cobertura de evaluación en los 6 muestreos realizados entre 2014 y 2017 (Figura 3.C, Tabla Anexa 3.D). Particularmente, la estimación de infestación por medio de esta colecta, mostró que la mayor Infestación General alcanzó 21,4% en 2014, manteniéndose desde 2015 entre 10,9% y 14,3% (Figura 3.D). Los datos en el intradomicilio mostraron variaciones entre 3,4% y 14,4%, para las distintas fechas analizadas (Figura 3.D). En relación a cada Departamento, Rosario Vera Peñaloza presentó mayor infestación durante el período de estudio, y sólo se registró disminución de la infestación en Ángel Vicente Peñaloza y San Martín en el período analizado (Figura 3.E).

Los patrones espaciales observados, sugieren una menor infestación en las Localidades pertenecientes al Departamento de Ángel Vicente Peñaloza. La prevalencia de infestación domiciliaria no mostró una agregación espacial significativa los dos primeros años de muestreo, sin embargo, las colectas pasivas permitieron distinguir heterogeneidad espacial respecto a la infestación por *T. infestans* en el tercer año (2016-2017). En este periodo, se identificaron áreas con mayores niveles de infestación en los Departamentos de Rosario Vera Peñaloza y San Martín (Figura 3.G). La ubicación de las zonas de alta infestación, coinciden geográficamente con las reportadas por Gorla et al. (2009). Estos resultados sugieren la presencia de focos no resueltos de infestación por *T. infestans* en el área. Otros estudios, realizados en Bolivia, informan que la infestación de las viviendas por *T. infestans* no se distribuye de forma homogénea o aleatoria, mostrando una distribución espacial agregada en área con valores de infestación entre dos y tres veces más altos que el promedio informado (Echeverría et al. 2017).

Al analizar la infestación por Tipología de Viviendas, se encontró un 44,1% de Viviendas Nuevas con infestación para *T. infestans* y casos puntuales con infestación reiterada en los diferentes

muestreos. Un aspecto que resultó interesante en este trabajo fue la similitud entre los porcentajes de infestación de las diferentes Tipologías analizadas. Por tal motivo, no se verificó la predicción esperada de mayor infestación en las Viviendas Tradicionales (Tablas 3.D y 3.E, Figura 3.H y Tabla Anexa 3.D).

Combinando los resultados de las colectas pasivas y activas realizadas, con ambas metodologías, se obtuvo una mayor cantidad de adultos que ninfas en el intradomicilio, coincidiendo con datos reportados previamente en otra áreas. Sin embargo, esto no sería representativo de la composición etaria real en la vivienda, ya que en muchos casos los propietarios visualizan más fácilmente los adultos y no reconocen las ninfas (Feliciangeli et al. 2007). En estudios realizados en otras áreas, los propietarios recolectaron significativamente más triatominos que lo reportado por búsqueda activa (García Zapata & Marsden 1993, Dumonteil et al. 2009), contrariamente, a los resultados del presente trabajo donde la abundancia de insectos colectados fue mayor por metodología activa respecto a la pasiva. Otros resultados previos muestran que la recolección pasiva de *T. infestans* es más sensible que la búsqueda activa (Feliciangeli et al. 2007, Abad-Franch et al. 2011). Sin embargo, en este estudio, el porcentaje de infestación en el intradomicilio resultó similar con ambos métodos de colecta y se observó subestimación de la infestación en el peridomicilio y la colonización en el intradomicilio en relación a los datos de búsqueda activa (Tabla 3.H). En el área de estudio, las estacas de maderas, troncos, ramas y palos que forman las estructuras peridomiciliaria y las cajas, ropa amontonada o material en desuso en los depósitos dificultan la visualización de *T. infestans*. Por tal motivo, los propietarios colectan una cantidad mayor de insectos en el interior de la vivienda, porque es más fácil distinguirlos en pisos y paredes. Por otro lado, el equipo capacitado que llevó a cabo la colecta activa de triatominos, fue capaz de visualizar todas las etapas de desarrollo (huevo, ninfa y adultos de *T. infestans*). La colecta pasiva mostró una alta especificidad, ya que al ser evaluadas por el método de colecta activa, las viviendas que fueron informadas por sus propietarios como no infestadas,, pudo ser verificado ese estado (Tabla 3.H).

Respecto a la procedencia de los insectos colectados por búsqueda activa, se detectó mayor abundancia media de *T. infestans* en las cluequeras, cuchas de perro y depósitos (Tabla 3.I), a diferencia de lo mencionado por Porcasi et al. (2007), donde los corrales de cabra fueron las estructuras principales para el desarrollo de *T. infestans* en el área. Los ecotopos con mayor infestación por *T. infestans* varían en relación a la zona evaluada. Por ejemplo, en Santiago del Estero el intradomicilio (principalmente los dormitorios) presentó mayor infestación, aunque los gallineros tenían varias características que indicaban que eran un hábitat de alta calidad para el desarrollo del insecto (Gürtler et al. 2014). Mientras que en Chaco, los sitios predominantes en la

recolección de *T. infestans* fueron las cocinas y almacenes asociados a domicilios y no se diferenciaban significativamente de nidos y gallineros (Gaspé et al. 2015).

Por último, con ambas metodologías se recolectaron *T. infestans* infectados con el parásito *Trypanosoma cruzi* (Tabla 3.J). Como se ha mencionado, *T. infestans* es el vector más importante de *T. cruzi* en la región del Gran Chaco, principal responsable de la vía vectorial de transmisión de la Enfermedad de Chagas (Schofield et al. 2006). También la vía vertical, congénita o placentaria se ha vuelto más relevante en términos de salud pública en los últimos años (Molina et al. 2016). La cantidad de *T. infestans* infectados con *T. cruzi* presentados en este trabajo (0,54%) es inferior a los registros de Corrientes (23,1%) (Bar et al. 1996) y de Brasil en otros triatomíneos (65% (Ribeiro et al. 2015)). Sin embargo, la presencia de insectos infectados dentro de la vivienda indica probabilidad de activa circulación del parásito en el intradomicilio. Desde 2005 el PPCHLR realiza análisis serológicos a los niños y garantiza que los casos confirmados reciban el tratamiento médico adecuado, con el objetivo de que no existan en la región niños menores de 5 años infectados por *T. cruzi*. La relevancia de nuestros hallazgos permitieron la detección (y tratamiento adecuado) de una niña infectada con *T. cruzi* en una de las viviendas rurales incluidas en el área de estudio.

CAPÍTULO IV

IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGOS ASOCIADOS A LA INFESTACIÓN POR *TRIATOMA INFESTANS*



IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A LA INFESTACIÓN POR *TRIATOMA INFESTANS*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Un modelo es una representación simple de un fenómeno complejo, que mediante métodos cuantitativos y matemáticos, tiene la finalidad de responder una pregunta, explicar fenómenos o resolver un problema de forma objetiva. Los modelos permiten conocer la relación entre variables de interés, con el propósito de ser utilizados para hacer predicciones e incluso extrapolar la información disponible hacia otras áreas en donde no existen datos sobre las variables en estudio (Giacomini 2007, Soetaert & Herman 2009). En general, los modelos biológicos utilizados en ecología poblacional describen, mediante distintos algoritmos, problemas de interés analizando los datos de una muestra de interés. Como es imposible incluir todas las particularidades de un determinado fenómeno de interés, es necesario partir de un interrogante inicial y desde allí seleccionar el tiempo y espacio que describen el evento. Actualmente, muchos trabajos han utilizado el modelado para estudios de diferenciación de poblaciones de triatominos en general, predecir áreas de distribución y de riesgo de transmisión vectorial de *T. cruzi* (Cohen & Gürtler 2001, Costa et al. 2002, Abad-Franch et al. 2010, Gurevitz et al. 2011, Valença-Barbosa et al. 2014).

El modelo lineal clásico expresa, de manera cuantitativa, las relaciones entre una variable en estudio (dependiente) y otras variables explicativas (independientes) que la describen. Cuando la variable dependiente es discreta o categórica, los modelos lineales clásicos no son aplicables para una descripción razonable de los datos, por lo que se propuso la unificación teórica en Modelos Lineales Generalizados (GLM, Generalized Linear Models) que admite analizar datos con funciones de distribución que pertenecen a la familia exponencial, como Binomial y Poisson (datos de presencia/ausencia o de conteo) (Nelder & Wedderburn 1972). En los GLM las variables explicativas se relacionan en forma lineal con la variable respuesta a través de una función de enlace, permitiendo realizar predicciones dentro de un rango de valores coherentes para el estudio (Guisan et al. 1999,

2002). La elección de la función de enlace depende del tipo de datos con los que se realiza el estudio y se desarrolla con el fin de generar el mínimo de varianza residual, es decir, que el modelo tenga la menor cantidad de variación no explicada. En un enfoque más general, existe una gran variedad de modelos estadísticos que se aplican según los datos y objetivos a analizar. Por ejemplo, una extensión de los modelos GLM son los Modelos Lineales Mixtos Generalizados (GLMM, Generalized Linear Mixed Models) y los Modelos de Ecuaciones de Estimación Generalizadas (GEE, Generalized Estimating Equations) (Zeger & Liang 1986, Zeger et al. 1988, Ballinger 2004). Los GLMM son usados cuando los datos presentan una estructura jerárquica de agrupación (medidas repetidas en el tiempo) o anidados (grupos de datos que pertenecen a la misma población y por lo tanto pueden presentar características en común) y permiten una descripción para cada dato en particular según los factores o efectos analizados. Los GEE son útiles cuando se obtienen medidas repetidas de una variable respuesta en distintos intervalos de tiempo, el número de observaciones por sujeto es pequeño (hasta 10 tiempos consecutivos) y la muestra en estudio (sujetos) es grande (Ballinger 2004). Este tipo de análisis asume que la respuesta en cada instante de tiempo es un modelo lineal generalizado, por tal motivo, independientemente de la distribución que presente (Binomial, Poisson, Gamma), incorpora al modelo una estructura de correlación sobre los sujetos en el tiempo y asume independencia entre ellos (Miller et al. 1993).

Es común que se consideren numerosas variables que influyen en una misma respuesta, por lo tanto la necesidad de ajustar los datos se traduce en la selección de varios modelos, en lugar de asumir que existe un único (y mejor) modelo. Una herramienta adecuada para el análisis de este tipo de datos es el **enfoque de inferencia multimodelo** (IMM, Multimodel inference) que valida trabajar con numerosas hipótesis y evaluar el peso relativo de cada una (Burnham & Anderson 2002, 2004). Este enfoque es un paradigma relativamente nuevo en el análisis de datos biológicos y contrarresta al método tradicional que consolida trabajar con una sola hipótesis (Burnham & Anderson 2002, Katsanevakis 2006, Katsanevakis & Maravelias 2008). La metodología propuesta para este enfoque es: **(1) Elegir el objetivo de estudio y las variables que influyen en la respuesta de interés**, justificando la elección de cada variable en base a la disponibilidad de datos publicados. **(2) Elaborar una lista de hipótesis y predicciones alternativas para representar los mecanismos explicativos en la variación de la variable respuesta**. Los mecanismos están basados en la detección de factores agrupados en diferentes categorías de efectos, que influyen de manera directa (positiva o negativa) en la variable de interés. **(3) Representar el conjunto de categorías con sus factores y eventuales combinaciones en modelos lineales estadísticos**. De esta forma, cada modelo a ser comparado constituye una hipótesis biológica. **(4) Seleccionar los modelos candidatos**. La categoría

de selección se basa en Criterio de Información de Akaike (AIC, Akaike Information Criterion) basado en el principio de simplicidad, esto significa que ante dos modelos que se ajustan igual a los datos, se elige el más simple (menor número de variables a estimar). Como regla general todos los modelos dentro de las 2 unidades de AICc (con respecto al modelo con menor AICc) tienen un nivel sustancial de soporte empírico y por lo tanto no deben ser eliminados. **(5) Comparar los modelos candidatos, verificar qué variables son más influyentes y cuál es su efecto sobre la variable respuesta.** Adicionalmente los resultados se informan por medio de un Intervalo de confianza, que se traduce como el rango de valores entre los cuales se encuentra el valor de la variable que se estima mediante el modelo. Si el intervalo no incluye el valor cero se considera que el efecto (positivo o negativo) sobre la variable respuesta es significativo (Burnham & Anderson 2004).

La integración de datos de infestación por *T. infestans* y las herramientas de análisis del enfoque de inferencia múltiple, permiten evaluar los factores que influyen positivamente en la infestación de la vivienda (o área en particular), en términos de la probabilidad de ocurrencia del vector, ya sea desde el punto de vista del material de construcción de la vivienda (De Andrade et al. 1995, Cecere et al. 2003), como de las prácticas culturales de sus propietarios. Análisis previos demostraron que las condiciones climáticas favorables (elevada temperatura, baja precipitación) permiten el desarrollo de abundantes poblaciones de *T. infestans*. Factores sociales y culturales dificultan la eliminación de las poblaciones domésticas de *T. infestans*, ya que generalmente los propietarios no cuentan con buenas prácticas para evitar la presencia del insecto en su domicilio, condicionando un riesgo de infestación. En el área de estudio, es común la presencia de aves de corral dentro de las habitaciones, contribuyendo considerablemente al desarrollo del ciclo doméstico (Cecere et al. 2006). Sumado a esto, la proximidad a la que se encuentran las estructuras peridomésticas juega un rol fundamental, ya que son hábitats favorables para el crecimiento de triatominos (Abad-Franch et al. 2009). Finalmente, en áreas rurales, con viviendas dispersas y sin que exista un ordenado y eficiente sistema de vigilancia entomológica, la factibilidad de sostener un control químico exitoso disminuye. Los valores de infestación registrados a pocos meses (o años) del control químico, demuestran la escasa eficiencia de los métodos habituales de control principalmente en el peridomicilio (Gürtler et al. 1994, Gürtler et al. 2004). En este contexto, comprender el conjunto de las variables asociadas con la infestación en el área puede ayudar a identificar los objetivos de intervención en el control vectorial, diseñar la implementación de la vigilancia entomológica e identificar áreas prioritarias de acción.

Objetivo General

Identificar y ponderar factores de riesgo de infestación por *T. infestans* en las viviendas del área de estudio.

Objetivos Específicos

1. Modelar la infestación por *T. infestans* utilizando variables relacionadas a la Unidad Domiciliaria.
2. Modelar la infestación por *T. infestans* utilizando variables referidas a las características de las Localidades del área de estudio.
3. Describir y analizar la Variación Temporal y Espacial de la infestación por *T. infestans* durante el período de estudio (2014-2017).

Hipótesis

Mecanismo: En el área de estudio coexisten factores ambientales y bio-socio-culturales que favorecen la persistencia de *T. infestans* y permiten la recolonización de los domicilios luego de cada rociado. Hipótesis: Asumiendo que las condiciones ambientales y climáticas (principalmente temperatura y precipitación) son similares en la zona de estudio, los factores de riesgo que determinan la infestación de las viviendas son sus Características Físicas (= tipo y material de construcción), la complejidad del Entorno Asociado (= tipo y número de estructuras peridomésticas y de viviendas vecinas) y el Control Vectorial que reciba (= químico y cultural). Predicciones: **(A)** La complejidad del peridomicilio presentará una relación directa y positiva con la infestación. **(B)** Existe una diferencia en la infestación entre las Viviendas Nuevas y las Viviendas Tradicionales, siendo, las Viviendas Tradicionales con peridomicilio asociado, las que presentarán mayor infestación por *T. infestans*. **(C)** Una vivienda, sin importar su tipología, donde los propietarios presentan pautas culturales de limpieza frecuente y recibe tratamiento químico, mostrará menor infestación. **(D)** Las Localidades con menor número de viviendas y entorno más complejo presentarán mayor infestación. **(E)** En la zona de estudio la infestación variará al inicio y final de la temporada cálida y entre Departamentos durante el período analizado.

Parte de los datos de esta sección fueron publicados en PLOS One (Cavallo et al. 2018).

METODOLOGÍA

Enfoque estadístico utilizado para el análisis

El trabajo se organizó en tres etapas metodológicas según la escala analizada. En primer lugar se analizó la infestación a escala de **Unidad Domiciliaria**. En segundo lugar se realizó el análisis de las variables que influyen en la infestación correspondientemente al nivel de **Localidad**. En tercer lugar, se integraron los datos de las 6 colectas pasivas para obtener una **representación temporal de la dinámica de infestación** en el área. Para cada nivel de análisis se construyó un listado de variables que influyen en la probabilidad de infestación en el área de estudio. La elección de los mismos, se fundamentó en **(1)** las características biológicas de *T. infestans* (Lent & Wygodzinsky 1979, Schofield et al. 1992, Schofield 1994, Cecere et al. 1998, entre otros), **(2)** las características del área de estudio (Capítulo II) y **(3)** los datos de infestación histórica en el área proporcionados por el PPCHLR.

Los análisis específicos a nivel de Unidad Domiciliaria y Localidad se realizaron según el enfoque de inferencia multimodelo (Burnham & Anderson 2002, 2004). Para el análisis de los datos, se elaboró una lista de predicciones alternativas para representar posibles mecanismos explicativos en la variación de la infestación de las viviendas rurales. Tales mecanismos fueron agrupados según su efecto en 3 categorías: **(1)** Características de la Vivienda. **(2)** Entorno Asociado. **(3)** Intervenciones de Control (con particularidades para cada escala analizada). Para cada categoría de efectos, se identificaron los niveles que potencialmente pueden afectar la infestación. El conjunto de categorías, con eventuales combinaciones, fueron representados como modelos lineales generalizados y modelos lineales generalizados mixtos con enlace Binomial y Binomial negativo.

Para el análisis temporal se ajustaron modelos de estimación generalizada (GEE) (Zeger & Liang 1986, Zeger et al. 1988, Miller et al. 1993, Ballinger 2004) y se seleccionó el que presentaba mejor desempeño en términos de criterio de información de Akaike corregido (AICc). Este criterio es comúnmente utilizado para comparar el grado de ajuste entre modelos, siendo considerado como mejor el que presente el valor más bajo.

Análisis de la infestación por *T. infestans* a escala de Unidad Domiciliaria

Selección de variables a considerar

Por la complejidad del escenario a analizar, primero se identificaron las variables que potencialmente pueden afectar la infestación por *T. infestans* en la Unidad Domiciliaria.

Se definió “**Unidad Domiciliaria**” al conjunto de viviendas y sus estructuras peridomiciliarias asociadas (corrales, gallineros, conejeras, sitios de depósitos y lugar de guardado de materiales). En la muestra inicial de 397 viviendas (Capítulo II) se colectó información sobre su material de construcción y pautas culturales de los propietarios respecto a hábitos de orden y limpieza. Se incluyó un croquis con la ubicación y distancia a las estructuras peridomésticas y otras viviendas vecinas dentro de un rango de 400 m. Para obtener información sobre el rociado de las viviendas, a partir de los datos de infestación histórica proporcionadas por el PPCHLR, se analizaron los datos de las viviendas que recibieron tratamiento químico entre 2006 y 2015 para calcular la “Cantidad de veces que cada vivienda fue rociada”. También se calculó el “Tiempo desde el último rociado con piretroides aplicado en cada vivienda”.

Considerando que las condiciones ambientales y climáticas (principalmente temperatura y precipitación) son similares en el área de estudio, la infestación de la Unidad Domiciliaria depende de: las Características Físicas de la vivienda (en función de la tipología y material de construcción), el Entorno Asociado (en relación al número y tipo de estructuras peridomésticas y número de viviendas vecinas) y las Intervenciones de Control Vectorial en la Vivienda (Control Químico por parte del PPCHLR y Doméstico realizado por los propietarios de la vivienda).

Las variables seleccionadas para el estudio y su justificación de elección se describen a continuación (Tabla 4.A):

Tabla 4.A. Variables definidas en la Unidad Domiciliaria

Categoría asociada	Variables explicativas	Código	Nivel	Código
Características Físicas de la Vivienda	Tipología de la Vivienda	<i>Tviv</i>	Vivienda Nueva	<i>VN</i>
			Vivienda Tradicional	<i>VT</i>
			Vivienda Conjunto	<i>VT+VN</i>
	Material de Construcción de la Vivienda	<i>Mcons</i>	Vivienda de Adobe	<i>adobe</i>
			Vivienda de Ladrillo	<i>ladrillo</i>
			Vivienda de Plástico	<i>plástico</i>
			Vivienda Mix	<i>mix</i>
Entorno Asociado	Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 metros	<i>CestPd</i>	Variable numérica. La variable está definida como la cantidad (= suma) de corrales, gallineros, conejeras y depósitos	
	Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 metros	<i>Cviv</i>	Variable numérica. Cantidad de viviendas sin distinguir la tipología o material de construcción.	
	Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400 metros	<i>Cvivposit</i>	Variable numérica. Cantidad de viviendas con infestación por <i>T. infestans</i> en el muestreo analizado.	
Intervenciones de Control Vectorial en la Vivienda	Control Doméstico (= Grado de Limpieza)	<i>Glim</i>	Buena	<i>Buena</i>
			Semi	<i>Semi</i>
			Mala	<i>Mala</i>
	Control Químico (= Tiempo al último Rociado de la Vivienda)	<i>TulR</i>	Variable numérica (meses) de acuerdo a los informes proporcionados por el PPCHLR.	

Justificación de las variables consideradas

Se definió como “**Características Físicas de la Vivienda**” a los atributos propios de la vivienda en relación al tipo de material de construcción. Dependiendo de la construcción de la vivienda, numerosos son los hábitats disponibles para *T. infestans*. En viviendas de adobe, barro y techo de paja y vegetación, se espera una prevalencia de infestación mayor. Cuando son de ladrillo cocido o bloques de cemento, generalmente cuentan con numerosas grietas en las paredes y material sin revocar y estos son ambientes propicios para el desarrollo del insecto. Asimismo, las condiciones de la vivienda en el interior y exterior (acumulación de elementos y huecos en la pared, entre otros), son factores que permiten la existencia de triatominos en el intradomicilio. Cuanto mayor es la disponibilidad de recursos (fuentes de alimentos y sitios de refugios) mejor es el desarrollo de *T. infestans* y su establecimiento en las viviendas (y por lo tanto su capacidad de establecer colonias). (Gurevitz et al. 2011).

A partir de estos datos, la categoría Características Físicas de la Vivienda se definió por los siguientes factores de análisis (Figura 4.A):

Tipología de la Vivienda: Según los datos obtenidos de nuestros relevamientos en terreno, en el área de estudio encontramos 3 tipologías de unidades habitacionales: Vivienda Tradicional (Figura 4.A; a,b,c), Vivienda Conjunto (Figura 4.A; d,e) y Vivienda Nueva (Figura 4.A; f,g,h), con características propias que ya fueron descriptas (Capítulo II, Tabla 2.A y Figura 2.B).

Material de Construcción de la Vivienda: según el material predominante en cada vivienda:

- A) Viviendas de Adobe: material preponderante en las paredes y techo con una estructura de múltiples capas de barro y vegetación local. Corresponden a Viviendas Tradicionales (Figura 4.A; a)
- B) Viviendas de ladrillo revocadas con cemento: predominante en las Viviendas Tradicionales y en algunas Viviendas Nuevas localizadas en el Departamento de Ángel Vicente Peñaloza y Localidades de San Martín. También se observan en Viviendas Conjunto, donde coincide el material de construcción de Vivienda Tradicional y Vivienda Nueva. (Figura 4.A; b,c,e,f,g).
- C) Viviendas de plástico: paredes de lámina plástica con cemento y techo de aluminio galvanizado con cielo raso de durlock y telgopor. Corresponden a las Viviendas Nuevas en algunos sectores del Departamento de San Martín y en todo el área de Rosario Vera Peñaloza (Figura 4.A; g).

D) Viviendas Mix: corresponde a las viviendas con dos tipos de materiales de construcción (Viviendas Conjunto): Ladrillo cocido revocadas con cemento (VT) + lámina plástica con el techo de aluminio galvanizado (VN) (Figura 4.A; d).

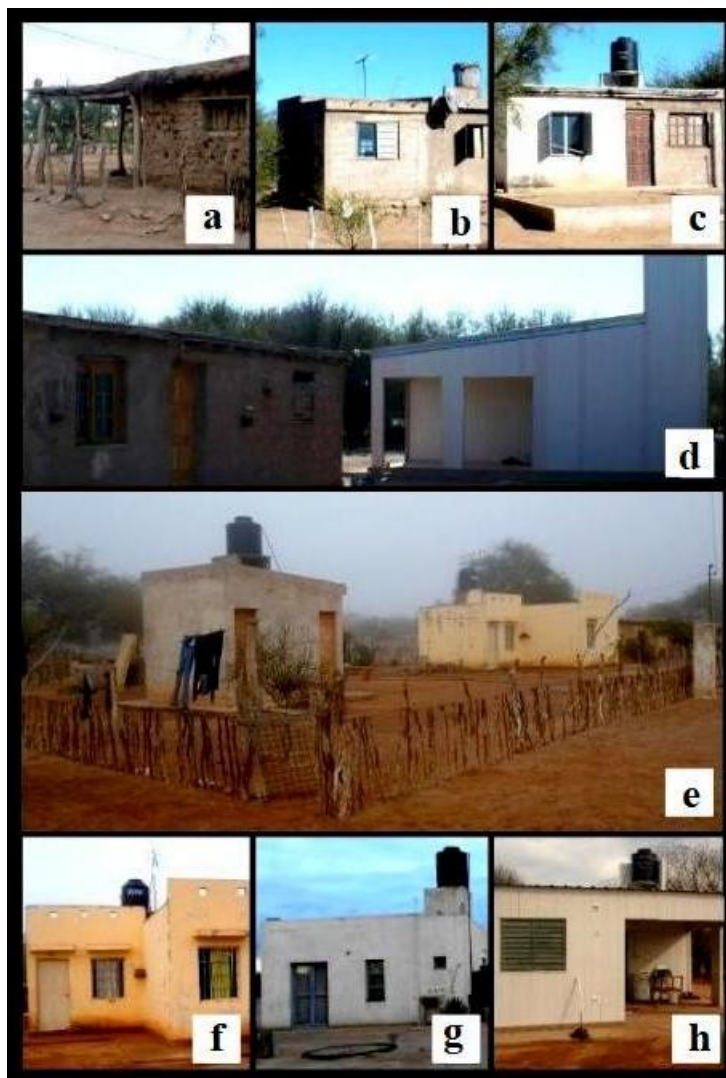


Figura 4.A. Características Físicas de la Vivienda. Tipología de la Vivienda, (Material de Construcción predominante): **a, b, c:** Viviendas Tradicionales, (**a:** paredes de adobe y techo con una estructura de múltiples capas de barro y vegetación local; **b, c:** paredes de ladrillo cocido revocado con cemento).

d, e: Viviendas Conjunto, (**d:** Mix, viviendas con dos tipos de materiales de construcción: Ladrillo cocido revocadas con cemento (VT) + lámina plástica con el techo de aluminio galvanizado (VN); **e:** Viviendas Conjuntos con el mismo material de construcción: ladrillo cocido revocado con cemento).

f, g, h: Viviendas Nuevas (**f, g:** ladrillo cocido revocado con cemento; **h:** lámina plástica con cemento y techo de aluminio galvanizado con cielo raso de durlock y telgopor).

Se definió como “**Entorno Asociado**” (Figura 4.B) al conjunto de estructuras peridomiciliarias y viviendas vecinas dentro del radio de 400 metros (m.) a cada vivienda (= buffer). Se consideró un radio de 400 m. ya que es la distancia estimada de dispersión activa más frecuente por *T. infestans* (Cecere et al. 2004). Esta forma de análisis considera la influencia sobre viviendas que no poseen estructuras peridomésticas propias, pero sí sus vecinas, desde las cuales, eventualmente, podían dispersarse adultos o ninfas.

Las estructuras peridomiciliarias más frecuentes en la región de Los Llanos son gallineros, corrales de cabras y conejeras localizados a metros de la vivienda (Figura 4.B). La elaboración de los mismos varía según la estructura, sin embargo, en el área, es común la construcción tradicional realizado con postes o palos de madera colocados en forma vertical formando un cerco, entre los cuales se colocan, en sentido horizontal, enramadas entrelazadas provenientes de arbustos de vegetación local (Figura Anexa 4A (a)). Regularmente se encuentran techadas con múltiples capas de lodo y vegetación seca. Este tipo de construcción proporciona una gran cantidad de espacios que se convierten en refugios óptimos para triatominos. También pueden estar contruidos con ladrillos y revocados con cemento (Gorla et al. 2013) (Figura Anexa 4.A (b) o una combinación de la estructura tradicional y nueva (Figura Anexa 4.A (c)). Se conoce que las estructuras peridomiciliarias son sitios propicios para la supervivencia de las poblaciones de *T. infestans*, poseen una alta probabilidad de ser colonizadas y son adecuadas para el refugio de triatominos (Cecere 1997).

A partir de esta información, la categoría Entorno Asociado se definió por los siguientes factores de análisis:

- A) Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 metros: sumatoria de corrales, gallineros, conejeras y depósitos en el buffer de 400 m. (Figura 4.B).
- B) Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 metros: sumatoria de viviendas sin distinguir la tipología o material de construcción.
- C) Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400 metros: sumatoria de viviendas con infestación por *T. infestans* en el muestreo analizado.



Figura 4.B. Estructuras peridomiciliarias en el área de estudio. a: corrales de cabras, **b:** conejeras, **c:** gallineros, **d:** depósitos.

En el área, todas las acciones de control de *T. infestans* se definieron como “**Intervenciones de Control Vectorial en la Vivienda**”, separándose en dos categorías de acuerdo a quien las realiza:

El **control doméstico** corresponde al conjunto de acciones llevadas a cabo por parte de los propietarios para evitar la presencia de *T. infestans* en el interior de su vivienda. Adecuadas pautas de higiene y control doméstico mejoran la calidad de vida de los habitantes, pero representan una desventaja desde el punto de vista de *T. infestans*. Por otro lado, la presencia de animales domésticos dentro de la vivienda (principalmente los perros) son una de las principales fuentes de alimento para *T. infestans* (Gürtler et al. 2009A) y además pueden presentar infección por *T. cruzi* (Cardinal et al. 2006).

Algunas de las pautas mencionadas por los dueños de las viviendas en el área de estudio consisten en la eliminación de objetos y materiales que podrían servir como refugios para triatominos, revoque de las paredes y evitar que los animales domésticos ingresen en la vivienda. A partir de estos datos, la categoría “Control Doméstico” se definió por los siguientes factores de análisis:

- A) Buena Limpieza: orden dentro y fuera de la vivienda, sin grietas visibles y sin animales en el interior de la misma.
- B) Semi Limpieza: grietas visibles, entorno con acumulación de material, depósitos desordenados a pocos metros y animales dentro de la vivienda.
- C) Mala Limpieza: acumulación de objetos, suciedad y basura dentro y fuera de la vivienda, presencia de grietas en las paredes y animales dentro de la vivienda.

Desde el inicio de los programas de control vectorial de *T. infestans*, una de las principales herramientas para eliminar las poblaciones domiciliarias es el rociado con insecticidas de acción residual. Se definió como **Control Químico** (Figura 4.C) al conjunto de acciones de rociado con insecticidas piretroides llevadas a cabo por parte de las brigadas especializadas del PPCHLR, en el área de estudio. La importancia de esta categoría es que permite realizar el seguimiento del impacto de las acciones de control vectorial y se fundamenta en **(1)** los análisis preliminares indicaron que la cobertura de evaluación, por parte de las brigadas del PPCHLR en las viviendas, varió anualmente (Capítulo III, Tabla 3.A) y **(2)** a excepción de los años 2006 y 2007, en donde se realizó un tratamiento químico masivo para toda el área evaluada, desde 2008, sólo reciben tratamiento químico las viviendas positivas y eventualmente las vecinas próximas (datos proporcionados por el PPCHLR).

La variable control químico se caracterizó como el *Tiempo al último Rociado de la Vivienda* (medida en meses) y se calculó de acuerdo a los informes proporcionados por el PPCHLR. Aunque entre las variables preliminares se había considerado *Cantidad de veces que recibió Tratamiento Químico la Vivienda*, los análisis exploratorios mostraron correlación entre ambas variables y por tal motivo se eliminó.



Figura 4.C. Control Químico de la vivienda por personal del Programa Provincial de Chagas La Rioja.

A partir de las variables en estudio, se consideraron las siguientes predicciones:

- Las viviendas con más cantidad de refugios disponibles para *T. infestans* favorecen el desarrollo de esta especie y, por lo tanto, muestran mayor probabilidad de infestación. En este caso, las Viviendas Tradicionales con peridomicilio asociado son las que presentarán mayor frecuencia de infestación por *T. infestans*.
- Una vivienda construida con materiales de buena calidad y adecuadas terminaciones que disminuyan las grietas (espacio para refugios) presentará menor probabilidad de infestación.
- Una vivienda con mayor número de estructuras peridomésticas en el buffer de 400 m, posee un entorno más complejo, con numerosos refugios para el desarrollo de *T. infestans*, por lo cual, la probabilidad de infestación será mayor.
- Una vivienda aislada es menos accesible y por lo tanto, es menos probable que las brigadas de control lleguen regularmente a evaluarla. A mayor cantidad de viviendas en el buffer de 400 m., se espera que las brigadas efectúen actividades de control con mayor frecuencia, lo que disminuirá la probabilidad de presentar infestación.

- A mayor cantidad de viviendas infestadas por *T. infestans* en el buffer de 400 m., se espera una mayor cantidad de insectos dispersantes que formen nuevas colonias en el área; por este motivo, la probabilidad de infestación de las viviendas vecinas aumentará.
- En una vivienda donde sus propietarios no muestran hábitos regulares de higiene se favorece el establecimiento y persistencia de colonias de *T. infestans* ya que, en estos sitios, se conservan refugios adecuados para el desarrollo de triatomíneos (ropa amontonada, trapos usados como dormideros de animales en el interior de la vivienda, cajas de cartón con material en desuso que no se moviliza por largos períodos de tiempo, etc). Por el contrario, las viviendas con buen grado de limpieza, presentarán menor probabilidad de infestación.
- Debido a que los piretroides utilizados para rociar las viviendas sufren un proceso de degradación al estar expuestos en el ambiente, a mayor tiempo transcurrido desde el último tratamiento químico, la probabilidad de infestación será mayor.

Modelado de la variable respuesta

En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de las variables de interés detalladas en el apartado anterior. Las variables cualitativas se resumieron mediante tablas de frecuencias y gráficos de sectores. Para las variables cuantitativas, se realizaron los análisis de correlación (grado de asociación entre las variables, con el software estadístico R (v. 3.4.3)).

Para realizar el análisis exploratorio de los datos, el rociado de cada vivienda se analizó utilizando los registros realizados por el PPCHLR. Los datos informan que la última evaluación (y tratamiento químico con deltametrina de las viviendas positivas y vecinas negativas) en el área de estudio fue en el 2014 para los Departamentos de San Martín y Rosario Vera Peñaloza y 2015 para Ángel Vicente Peñaloza. A partir de estos datos, se seleccionaron las viviendas que recibieron tratamiento químico y se estimó el tiempo desde el rociado de la vivienda hasta la primera vez que se registró infestada por método de colecta pasiva. Se realizaron comparaciones entre Departamentos y entre viviendas tratadas y no tratadas utilizando odds ratio.

En segundo lugar, utilizando el enfoque de inferencia multimodelo (Burnham & Anderson 2002, 2004) mencionado previamente, se trabajó con un conjunto de modelos lineales generalizados (Nelder & Wedderburn 1972) para estimar las variables que influyen en la probabilidad de infestación en el área de estudio. La estructura de los modelos tuvo como finalidad evaluar los efectos de las Características físicas, el Entorno asociado e Intervenciones de Control en

la Unidad Domiciliaria, para lo cual, los análisis se basaron en la combinación de distintas variables y su relación con la infestación.

Se consideró como variable respuesta a la *Infestación de la Unidad Domiciliaria*, variable que asume dos estados: *positivo* (los propietarios encontraron al menos un ejemplar de *T. infestans*, ninfa o adulto, en la vivienda y/o peridomicilio; Capítulo II) / *negativo* (no se colectaron *T. infestans*).

Se utilizó como variables explicativas: *Tipología de la Vivienda (Tviv)*, *Material de Construcción de la Vivienda (Mcons)*, *Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 metros (CestPd)*, *Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 metros (Cviv)*, *Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400 metros (Cvivposit)*, *Grado de Limpieza (= Control Doméstico) (Glim)*, *Tiempo al último Rociado de la Vivienda (= Control Químico) (TulR)* (Tabla 4.A).

En el ajuste inicial de los modelos, se consideró el “modelo nulo” que representa la hipótesis que la infestación de la Unidad Domiciliaria no depende de ninguna de las Variables Explicativas consideradas. El “modelo saturado” que incluye todas las variables consideradas y un conjunto de modelos alternativos con diferentes combinaciones entre las mismas. Debido a que se detectaron diferencias entre las características de los Departamentos en estudio (por ejemplo, el personal municipal encargado de la evaluación, rociado y vigilancia de viviendas tiene diferente compromiso, la cobertura de evaluación del terreno no es homogénea, entre otros), se incluyó la variable “*Departamento*” como efecto aleatorio. El objetivo de este procedimiento fue discriminar la variabilidad atribuida a esta variable pero sin intención de cuantificar su efecto.

El modelo general se expresó como:

$$\text{infestación} \sim \text{Tviv} + \text{Mcons} + \text{CestPd} + \text{Cviv} + \text{Cvivposit} + \text{Glim} + \text{TulR}$$

A partir del cual se elaboraron 32 modelos lineales generalizados (GLM, con Departamento como efecto fijo) y 16 modelos lineales mixtos generalizados (GLMM, con Departamento como efecto aleatorio) para cada set de datos correspondientes a las 6 colectas pasivas (muestreos). La infestación se cuantificó como variable binaria (presencia/ausencia), por lo cual se consideró con error Binomial y se seleccionó la función de enlace logit (Nelder & Baker 1972). La selección de los mejores modelos se basó en el criterio de AICc (Akaike's corrected Information Criterion) (Burnham & Anderson 2004).

Burnham y Anderson (2003) proponen como regla general que todos los modelos dentro de las 2 unidades de AICc, con respecto al "mejor" modelo, tienen un nivel sustancial de soporte empírico.

En este trabajo fueron considerados los que no difirieron en más de 3 (deltaAICc) con el modelo con menor AICc y se seleccionaron para realizar un promedio ponderado de los coeficientes de las variables a fin de calcular sus intervalos y de esta forma evaluar el efecto de cada variable en la infestación (influencia positiva, negativa o sin efecto).

La metodología propuesta se realizó en cada set de datos correspondiente a las colectas pasivas (6 conjuntos de datos), a partir de los cuales, se seleccionaron las variables presentes en los mejores modelos y se verificaron si los resultados coincidían entre los datos de cada muestreo. Si bien para cada muestreo se utilizó la misma metodología, no se pudo evaluar la misma cantidad de viviendas (por razones climáticas o por encontrarse cerrada), por lo que el número evaluado varia en cada situación (Capítulo III, Tabla Anexa 3.C).

Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico R (v. 3.4.3), la estadística descriptiva se realizó utilizando la función ggplot2. Para el ajuste del modelo GLM y GLMM, se usaron las funciones glm y glmer (package: lme4). Para calcular coeficientes, sus incertidumbres y el efecto de cada variable se utilizaron las funciones aictab y modavg (package: AICcmodavg).

Análisis de la infestación por *T. infestans* a escala de Localidad

Selección de variables a considerar

Como se explicó previamente, en el área se definió como “**Localidad**” al grupo de viviendas separadas por al menos dos km de otro grupo. Las Localidades incluidas en el estudio, fueron aquellas donde se instalaron Nuevas Viviendas en el marco del “Programa erradicación de viviendas rancho”. Los análisis previos mostraron grupos de Localidades agregadas geográficamente y con infestación mayor al promedio general del área (Capítulo III, Figura 3.G). Para este análisis, se consideró la cantidad de viviendas infestadas en la Localidad (asociadas como efecto fijo a la cantidad de viviendas evaluadas en cada Localidad en cada muestreo).

Siguiendo el mismo procedimiento descripto previamente, las variables definidas para el análisis de Unidad Domiciliara (Tabla 4.A) se reajustaron para definir los atributos que influyen a escala de Localidad. De esta forma, se definieron las categorías: Cantidad de Viviendas Nuevas en la Localidad, Entorno Asociado e Intervenciones de Control. Las variables seleccionadas y su justificación se describen a continuación (Tabla 4.B).

Tabla 4.B. Variables definidas en la Localidad

Categoría asociada	Variables explicativas	Código	Nivel
Viviendas Nuevas	Cantidad de Viviendas Nuevas	<i>CvivNL</i>	Variable numérica
Entorno Asociado	Centro Primario de Salud	<i>CPS</i>	si/no
	Escuelas	<i>Esc</i>	si/no
	Cantidad de Estructuras Peridomésticas en la Localidad	<i>CestPdL</i>	Variable numérica
	Cantidad de Viviendas Georeferenciadas en la Localidad	<i>CvivgL</i>	Variable numérica
	Distancia Media entre las Viviendas	<i>distM</i>	Variable numérica
	Distancia a la Ruta pavimentada más cercana	<i>distR</i>	Variable numérica
	Acceso al Agua Potable	<i>Cap</i>	si/no
Control Químico	Tiempo al último Tratamiento de la Localidad (= Tratamiento Químico)	<i>TultL</i>	Variable numérica

Justificación de las variables consideradas

La justificación de incorporar las variables Cantidad de Viviendas Nuevas y Estructuras Peridomésticas fueron explicadas previamente para Unidad Domiciliaria. Como el número de Viviendas Nuevas por Localidad es cambiante se incorporó como variable a analizar.

Siguiendo la misma definición mencionada previamente para “**Entorno Asociado**” se evaluaron los siguientes atributos presentes en las Localidades:

Presencia de Centros Primarios de Salud y Escuelas: los programas de eliminación de *T. infestans* podrían beneficiarse si se llevaran a cabo con agentes de atención primaria de la salud y con la capacitación de líderes comunitarios (Segura et al. 1994). El 29,2% de las Localidades muestreadas cuentan con un Centro Primario de Salud con agentes sanitarios (21/72) y el 31% con Escuelas (23/72).

Cantidad de Viviendas Georeferenciadas: la infestación por *T. infestans* está inversamente relacionada con el número de viviendas de cada Localidad (Gorla et al. 2009). Para la selección de viviendas se georeferenciaron las Viviendas Nuevas y todas las Tradicionales que estaban alrededor

(buffer: 400 m, Capítulo II). En la mayoría de las situaciones esto implica que el número de viviendas analizadas coincide con el total de la Localidad. Sin embargo, en algunas Localidades, un grupo de Viviendas Tradicionales no estaban dentro de la muestra de estudio y por tal motivo no fueron evaluadas (Por ejemplo, en Tama (AVP) donde las Viviendas Nuevas están concentradas en la periferia).

Distancia Media entre las Viviendas (en metros): es un indicador del grado de urbanidad. A partir del dato de coordenadas geográficas (latitud-longitud) se mapearon todas las viviendas en estudio y se calculó la distancia entre ellas, mediante la construcción de una matriz vectorial utilizando el programa Qgis (v 3.0.2, herramienta vectorial-buffer_matriz de distancia). Con estos datos se realizó el promedio de distancia, en metros, entre las viviendas de la Localidad.

Distancia a la Ruta pavimentada más cercana (en kilómetros): mide el grado de aislamiento de la Localidad. La inaccesibilidad de las Localidades limita la frecuencia de visitas del PPCHLR y por ende los tratamientos químicos.

Acceso al Agua Potable: en la zona encontramos Localidades con agua potable propia (79,2%, 57/72) y otras que reciben agua por medio de un camión dependiente de la municipalidad que los visita una vez a la semana (20,8%, 15/72).

Como se mencionó, la frecuencia entre evaluaciones del PPCHLR es variable y heterogénea tanto para viviendas como para Localidades, adicionalmente desde 2008 sólo se rocían las viviendas positivas (y eventualmente las negativas vecinas). Siguiendo el protocolo de “Control Químico”, realizado por las brigadas del PPCHLR (Figura 4.C), con una lógica similar a la utilizada a escala de Unidad Domiciliara se consideró la variable *Tiempo al último Tratamiento de la Localidad*, tomando el dato de la vivienda (o grupo de viviendas) que recibió tratamiento químico en la última evaluación realizada en la Localidad. La variable se analizó como un indicador del estado de infestación en ese área.

A partir de las variables en estudio, se consideraron las siguientes predicciones:

- Las Localidades pequeñas y aisladas reciben menor frecuencia de evaluaciones por las brigadas de control vectorial, por lo cual, presentarán mayor proporción de viviendas infestadas respecto a las Localidades mayores.
- Las Localidades con un entorno más complejo (estructuras peridomiciliarias) presentan mayor cantidad de refugios disponibles para albergar a *T. infestans*, por lo que, la probabilidad de infestación será mayor.
- La presencia en la Localidad de Escuelas y Centro Primario de Salud, permite un mayor acceso al conocimiento relacionado a promoción de la salud, por lo que, la existencia de estas instituciones en una Localidad se asociará a una menor probabilidad de infestación de la misma.
- A mayor distancia de la Localidad a una ruta pavimentada, mayor es el aislamiento de la misma y por lo tanto se dificulta el acceso de la población a tratamientos de control químico, en caso de ser necesarios, por lo cual, a mayor aislamiento se esperará mayor infestación por *T. infestans* en la Localidad.
- A menor distancia entre viviendas, más urbana es la Localidad y menor la cantidad de estructuras peridomésticas en el área lo que se asociará, a una menor probabilidad de infestación en la misma.
- Las Localidades que han recibido rociado con insecticida recientemente (menor tiempo al último tratamiento químico) aún están protegidas por el efecto residual del piretroide y tendrán menor probabilidad de que sus viviendas se encuentren infestadas.
- Las Localidades donde los pobladores dependen de un aporte externo de agua para subsistir, la falta de la misma, se convierte en su preocupación principal, a la vez que restringen las actividades de limpieza a la disponibilidad de agua. La vulnerabilidad sanitaria en estas Localidades aumentará la probabilidad de infestación por *T. infestans*.

Modelado de la variable respuesta

La selección de modelos se fundamentó en los mismos criterios que lo descripto para la Unidad Domiciliaria. La variable respuesta que se consideró fue *Cantidad de viviendas Positivas en la Localidad* (= con infestación de *T. infestans*).

Se consideraron como variables explicativas: *Cantidad de Viviendas Nuevas* (CvivNL), *Centro Primario de Salud* (CPS), *Escuelas* (Esc), *Cantidad de Estructuras Peridomésticas en la Localidad* (CestPdL), *Cantidad de Viviendas Georeferenciadas en la Localidad* (CvivgL), *Distancia Media entre las Viviendas* (distM), *Distancia a la Ruta pavimentada más cercana* (distR), *Acceso al Agua Potable* (Cap), *Tiempo al último Tratamiento de la Localidad* (= Tratamiento Químico) (TultL) (Tabla 4.B).

Como una forma de controlar los posibles efectos de las variables, el “Departamento” al que pertenecía la Localidad fue considerado como variable en todos los modelos excepto en el "nulo" y se lo comparó con modelos que no presentaban dicha variable. Adicionalmente, como la infestación de la Localidad depende de la cobertura de evaluación, en todos los modelos se incluyó como efecto fijo: *Cantidad de Viviendas Evaluadas en el muestreo* (variable numérica). Por tal motivo, los análisis fueron realizados con las Localidades que tenían al menos 2 viviendas (63 Localidades).

El modelo general se expresó como:

Cantidad de viviendas Positivas en la Localidad ~ CvivNL + CPS + Esc + CestPdL + CvivgL + distM + distR + Cap, con Departamento + Cantidad de Viviendas Evaluadas en el muestreo como efecto fijo.

A partir del cual se ajustaron 15 modelos lineales generalizados (para cada set de datos correspondientes a cada colecta pasiva (6 muestreos), Tabla Anexa 4.D). La selección de los modelos candidatos sobre los cuales se realizaron los análisis se basó en los criterios detallados previamente para Unidad Domiciliaria. Se trabajó con la distribución Binomial Negativa debido a que el número de viviendas que pueden ser positivas en la Localidad tiene un máximo (dependiente del número de viviendas georeferenciadas) y es más flexible cuando se cuenta con datos con sobredispersión (heterogeneidad observada) (Lawless 1987).

Análisis de la infestación por *T. infestans* a escala Temporal y Espacial (período 2014-2017)

Selección de variables a considerar

Se agruparon los datos anuales obtenidos por colecta pasiva en períodos que garantizaran una cobertura de evaluación homogénea y periodos de tiempos similares para realizar las comparaciones. Se trabajó con 3 períodos: año 1 (datos recolectados en Noviembre2014 y Febrero2015), año 2 (datos entre Noviembre2015 y Febrero2016) y año 3 (datos entre Noviembre2016 y Febrero2017). Se consideró temporada “Primavera” a los datos recolectados en Noviembre y “Verano” a los datos de Febrero. En cada período se definió: **(1) vivienda infestada** cuando fue positiva en al menos un muestreo pasivo, **(2) vivienda negativa** cuando en ninguno de los muestreos se recolectó *T. infestans* y **(3) vivienda no evaluada** cuando no se evaluó en ninguna fecha.

Para comparar la infestación por *T. infestans* a nivel espacial y su variación en el tiempo, las variables seleccionadas para el estudio y su justificación se describen a continuación (Tabla 4.C):

Tabla 4.C. Variables definidas para el análisis Temporal y Espacial (período 2014-2017)

Categoría	Variables explicativas	Código	Nivel	Código
Espacial	Departamento	<i>Depto</i>	Ángel Vicente Peñaloza	<i>AVP</i>
			Rosario Vera Peñaloza	<i>RVP</i>
			San Martín.	<i>SM</i>
Temporal	Temporada	<i>Temporada</i>	Primavera	<i>Prim</i>
			Verano	<i>Ver</i>
	Año	<i>Año</i>	Año1	<i>año1</i>
			Año2	<i>año2</i>
			Año3	<i>año3</i>
Características Físicas de la Vivienda	Tipología de la Vivienda	<i>Tviv</i>	Vivienda Nueva	<i>VN</i>
			Vivienda Tradicional	<i>VT</i>
			Vivienda Conjunto	<i>VT+VN</i>
Control Químico	Tiempo al último Rociado	<i>TulR</i>	Variable numérica (meses) de acuerdo a los informes proporcionados por el	

			PPCHLR.
--	--	--	---------

Justificación de las variables consideradas

La decisión de incorporar las variables *Tipología de Viviendas* y *Control Químico*, fueron mencionadas previamente para Unidad Domiciliaria.

Estación (Primavera / Verano): La detección de infestación en una vivienda puede depender del momento en que se mide la infestación. Se asume que, al comienzo de la temporada cálida pueden encontrarse sólo adultos o ninfas de *T. infestans* que pasaron el invierno y que deben salir a alimentarse por lo cual serían más detectables. En tanto, que al final de la temporada cálida habrá mayor proporción de ninfas jóvenes debido a la actividad reproductiva del verano. Como la metodología propuesta está basada en la capacidad del propietario para detectar *T. infestans*, es posible que detecte más fácilmente adultos que ninfas pequeñas.

Año: En los análisis exploratorios, la infestación por *T. infestans* es cambiante entre los años y Departamento. Se observaron zonas agregadas con mayor infestación, concentradas en los Departamentos de SM y RVP. (Capítulo III, Figura 3.G). Por tal motivo, se consideró la interacción entre infestación correspondiente a cada año y Departamento (*Año x Departamento*).

Modelado de la variable respuesta

Para modelar los cambios en la infestación de *T. infestans* entre año, estación y Departamento, se ajustaron ecuaciones (modelos) de estimación generalizadas (GEE) que validan trabajar en el tiempo con datos incompletos. La variable respuesta para este objetivo fue la “*infestación de las viviendas*” (distribución de error Binomial y función de enlace *logit*) que asume valor “1” si la vivienda está infestada por *T. infestans*.

Se consideraron como variables explicativas el *Año*, *Temporada*, *Departamento*, *Tipología de la Vivienda*, *Tiempo al último Rociado* y sus interacciones como factores fijos. Para controlar la variabilidad en los lapsos de tratamiento químico observados entre las viviendas se incluyó como variable explicativa el *Tiempo al último Rociado*, medido en meses. Esta variable se centró en la media (tiempo promedio del último tratamiento químico en todo el área) para mejorar la

interpretación de los coeficientes del modelo, ya que permite analizar los efectos de las variables en grupos de viviendas con el mismo intervalo de tratamiento previo. Se agregó una estructura de correlación autorregresiva de primer orden. En los análisis exploratorios las interacciones no significativas se eliminaron, una a la vez, de niveles más altos a niveles más bajos, para reducir el número de parámetros a estimar. Se seleccionaron los modelos candidatos mediante el valor de AICc y se realizaron las comparaciones de medias entre los coeficientes mediante el procedimiento de Tukey.

Los análisis exploratorios y estadísticos se realizaron con el software estadístico R (v. 3.4.3). Para el ajuste de los modelos GEE, se usaron las funciones `geeglm` (package: `geepack`) (family: `binomial`). Para calcular el efecto de cada variable se utilizó el package `emmeans`.

RESULTADOS

Características de las variables en estudio

Previo a la presentación de los resultados según la escala correspondiente, se realiza una breve descripción de las diferentes variables en estudio.

En la Tabla 4.D se muestran las frecuencias de las variables relacionadas a *Características Físicas de la Vivienda y Control Doméstico*. El material de construcción más frecuente es el ladrillo, representando el 58,6% entre las Viviendas Nuevas y el 90,8% en las Tradicionales. En el área sólo se encontró un 9,2% de viviendas que conservan el adobe como material predominante. Respecto al *Grado de Limpieza*, predomina la categoría *Semi* en las 3 tipologías de viviendas, debido a que es común que las viviendas en el área presenten grietas visibles, acumulación de material en desuso, desorden y animales que duermen dentro de la vivienda.

Tabla 4.D. Frecuencia de las variables cualitativas medidas en el área de estudio según la Tipología de Vivienda y Grado de Limpieza

Tipología de la Vivienda	Material de construcción				Grado de limpieza		
	Adobe	Ladrillo	Plástico	Mix	Buena	Mala	Semi
VN	0	59	31	0	16	7	67
VT	21	207	0	0	42	20	166
VT + VN	0	40	0	39	8	12	59

VN: Vivienda Nueva. VT: Vivienda Tradicional. VT + VN: Vivienda Conjunto. MIX: Vivienda Conjunto en donde el material que predomina en cada tipo de vivienda es distinto: Ladrillo cocido revocado con cemento (VT) + lámina plástica con el techo de aluminio galvanizado (VN). Número total de viviendas: 397.

Considerando el área de 400 m de radio (buffer) alrededor de cada vivienda, se contabilizó un máximo de 22 estructuras peridomiciliarias y 30 viviendas vecinas (siendo lo más frecuente 15 estructuras por vivienda).

Se comprobó que el 75% de las estructuras peridomiciliarias están construidas con material tradicional (jarilla y palos dispuestos en forma intrincada), por este motivo se decidió no considerar la categoría *Tipo de material de construcción del peridomicilio* como variable en estudio en los

análisis posteriores. En cuanto a la diversidad de estructuras peridomiciliarias en el área (Figura 4.D), los corrales de cabra resultaron ser la estructura predominante asociada a Viviendas Tradicionales y Nuevas. En el extremo opuesto, las conejeras representan la estructura peridomiciliaria menos frecuente.

Al analizar la correlación entre variables, se observó una relación positiva entre el número de corrales, gallineros, depósitos y conejeras y el total de estructuras peridomésticas (Figura 4.E), por esto los modelos utilizados se realizaron en función a la *Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m (CestPd)*.

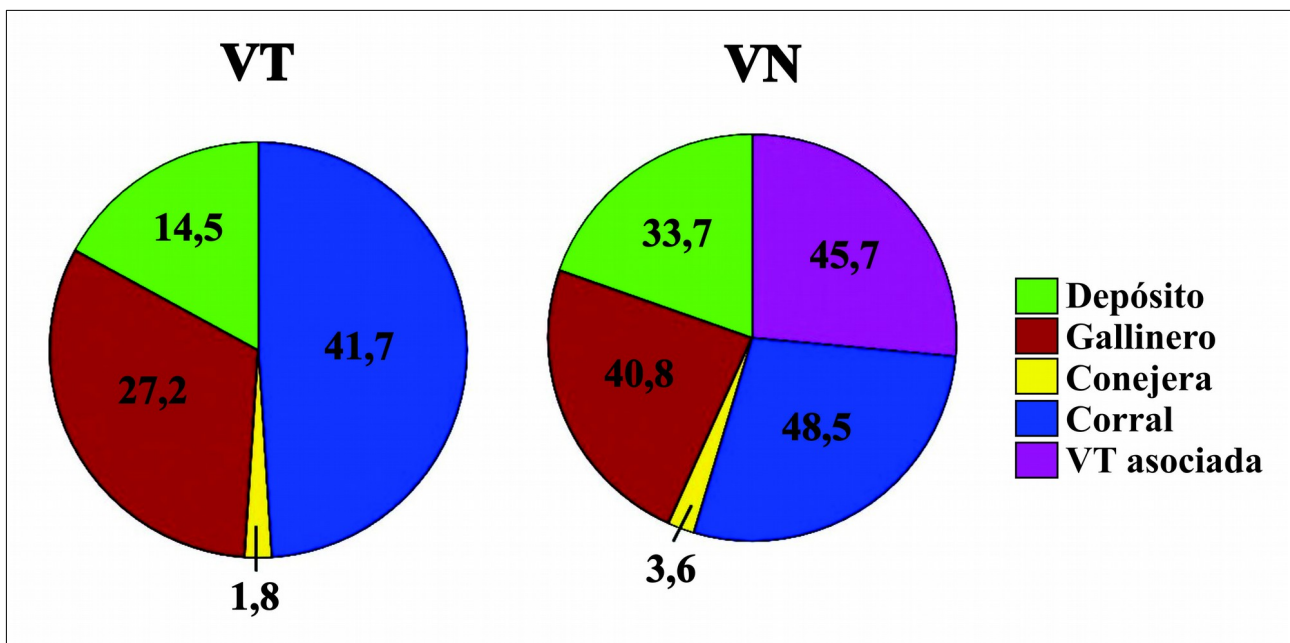


Figura 4.D. Estructuras asociadas a las viviendas en el área de estudio. VT: Vivienda Tradicional. (Número (Nº) de viviendas= 227). VN: Vivienda Nueva (Nº = 170).

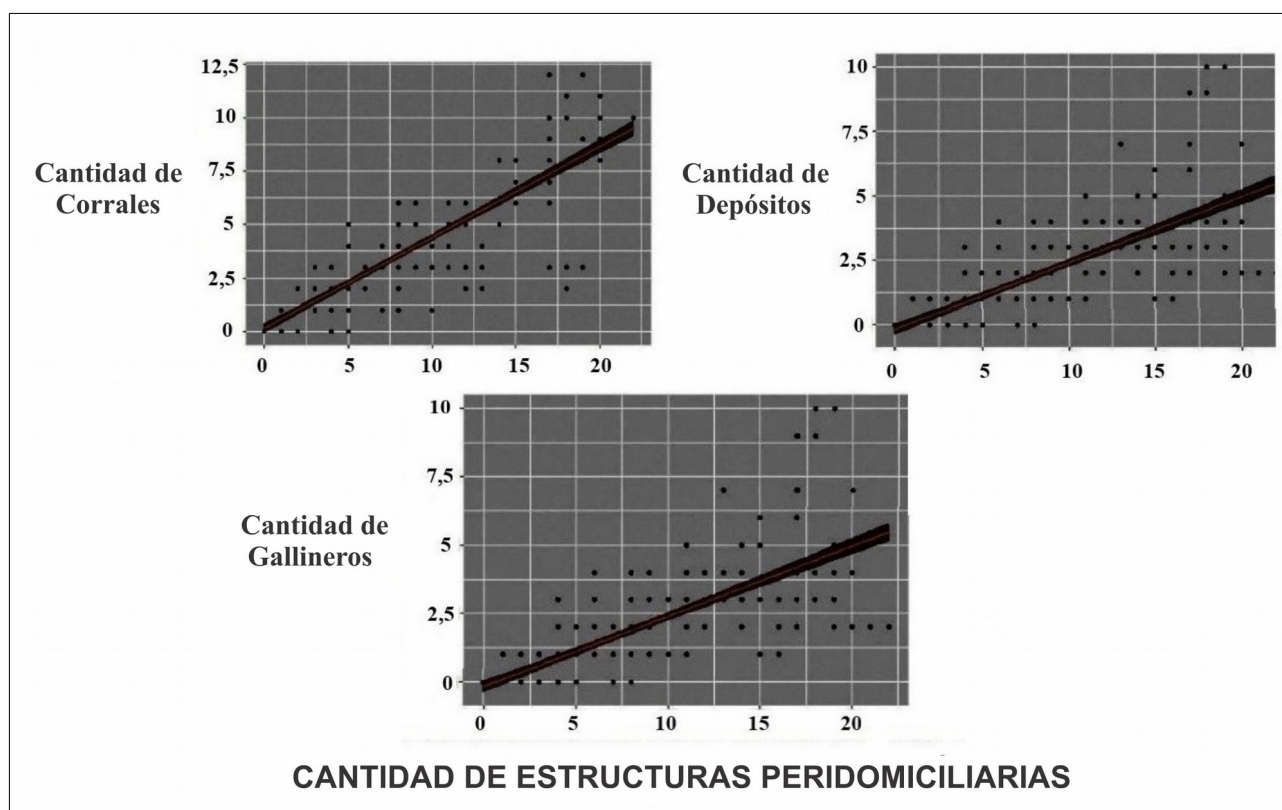


Figura 4.E. Correlación entre las variables asociadas al Tipo y Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m.

Analizando las variables relacionadas al Control Químico, desde 2008 a 2017, el *Tiempo al último Rociado de la Vivienda* puede variar de 2 a 133 meses, con un máximo de 4 rociados en una vivienda (siendo lo más frecuente 1 ó 2 rociados).

La última intervención química realizada por el PPCHLR coincidió con los muestreos realizados durante este estudio, año 2014 en los Departamentos de San Martín y Rosario Vera Peñaloza y 2015 en Ángel Vicente Peñaloza (Tabla Anexa 4.A, detalle completo del área). De las 397 viviendas incluidas en el muestreo, 247 fueron a su vez evaluadas durante este período de estudio, resultando el 42,1% de viviendas positivas (104), las cuales recibieron tratamiento químico.

En la Tabla 4.E se observa el estado de la vivienda (positivo o negativo) estimado por las colectas pasivas a los 2, 5 y 14 meses post tratamiento químico realizado por las brigadas del PPCHLR. Las viviendas no tratadas incluyen viviendas negativas y no evaluadas por el PPCHLR (276). No se encontraron diferencias entre las viviendas tratadas y las que no recibieron insecticida (odds ratio 1,47 (0,78-2,75)). El 17% de las viviendas que recibieron tratamiento químico fueron registradas como positivas 2 meses después de la aplicación del insecticida. El 35,5% de las viviendas tratadas

se mantuvieron negativas en el período de 14 meses de evaluación. De las viviendas que no recibieron tratamiento químico por las brigadas del PPCHLR (y por lo tanto fueron consideradas negativas), se verificó que el 67,4%, continuaron negativas y 13,8% estaban positivas según los datos de la colecta pasiva. Además, se observa que la positividad disminuye en las viviendas no tratadas con insecticida (Tabla 4.E).

Con la finalidad de corroborar si las viviendas positivas post tratamiento químico pertenecían a un área específica, se analizaron los datos correspondientes a cada Departamento. Se encontró que las viviendas positivas post tratamiento pertenecían al Departamento San Martín (33,3%) y Rosario Vera Peñaloza (12,5%). No se encontraron viviendas positivas, después del tratamiento químico, en el Departamento de Ángel Vicente Peñaloza (Tabla 4.F).

Tabla 4.E. Estado de la vivienda post Tratamiento Químico estimado a partir de los datos de colecta pasiva

Meses post Tratamiento Químico ¹	Viviendas Tratadas (Nº= 121) ¹		Viviendas No Tratadas (Nº=276) ¹	
	Viviendas Positivas ²	Viviendas Negativas ²	Viviendas Positivas ²	Viviendas Negativas ²
2	17,4 (21)	69,4 (84)	13,8 (38)	67,4 (186)
5	5,8 (7)	48,8 (59)	4,3 (12)	40,6 (112)
14	12,4 (15)	35,5 (43)	3,6 (10)	29,3 (81)

1: Rociado por las brigadas del PPCHLR. 2: Datos de infestación estimado por colecta pasiva. Vivienda Positiva: los propietarios colectaron al menos un ejemplar de *T. infestans* (ninfa o adulto). Vivienda Negativa: sin colecta de *T. infestans*. En todos los casos: porcentaje (número de viviendas evaluadas).

Tabla 4.F. Estado en el intradomicilio a los 2 meses post Tratamiento Químico estimado a partir de los datos de colecta pasiva

Departamento	Viviendas Tratadas (N°= 105) ¹			Viviendas No Tratadas (N°= 224) ¹		
	Viviendas Evaluadas ²	Viviendas Positivas ²	Viviendas Negativas ²	Viviendas Evaluadas ²	Viviendas Positivas ²	Viviendas Negativas ²
AVP	22	0	100 (22)	66	0	100 (66)
RVP	32	12,5 (4)	87,5 (28)	66	16,7 (11)	83,3 (55)
SM	51	33,3 (17)	66,7 (34)	92	29,3 (27)	70,7 (65)

1: Rociado por las brigadas del PPCHLR. 2: Datos de infestación estimado por colecta pasiva. Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. Vivienda Positiva: los propietarios colectaron al menos un ejemplar de *T. infestans* (ninfa o adulto). Vivienda Negativa: sin colecta de *T. infestans*. En todos los casos: porcentaje (número de viviendas evaluadas).

Análisis de variables a escala de Unidad Domiciliaria

Para cada set de datos correspondientes a las 6 colectas pasivas (muestreos) se ajustaron y analizaron un conjunto de modelos lineales generalizados y modelos lineales mixtos generalizados con distinta combinación de las variables explicativas. La variable *Departamento* no está presente en los modelos con mejor desempeño, por lo que sólo se consideró como efecto aleatorio, con la finalidad de reducir la variabilidad no explicada.

En la Tabla 4.G se detalla el modelo de referencia (menor valor de AICc) para cada set de datos correspondiente a los 6 muestreos pasivos, en base a los cuales se calculó la diferencia de $\Delta AICc$ con el resto de los conjuntos de modelos ensayados. Sin embargo, la metodología propuesta en esta Tesis (enfoque de inferencia multimodelo (Burnham & Anderson 2002,2004)) considera que tanto los modelos de referencia (que se detallan en las mencionadas Tablas), como los que presentan un $\Delta AICc \leq 3$ con los mismos, presentan similar desempeño, adecuado nivel de soporte empírico y no deben ser descartados. Por tal motivo, en la Tabla 4.H se presenta el resumen de todos los modelos (y la combinación de variables explicativas) que presentaron mejor desempeño ($\Delta AICc \leq 3$) y su ranking (orden de selección) en relación a su $\Delta AICc$ (en Tabla Anexa 4.C (a-f) detalle completo por muestreo). En general, los modelos nulo y saturado presentaron un desempeño débil en todos los muestreos ($\Delta AICc > 12$). Los modelos que combinan *Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 m. (Cviv)*, *Cantidad de Viviendas Infestadas en el buffer de 400 m.*

(*Cvivposit*) y *Tiempo al último Rociado de la Vivienda (TulR)* mostraron el mejor desempeño en el análisis individual de los 6 set de datos. En el conjunto de modelos analizados, el *modelo 4 (Cviv+Cvivposit)* mostró menor valor de AICc en el 66,6% de los casos analizados (Datos Muestreo Febrero(Feb)2015, Feb2016, Noviembre(Nov)2016, Feb2017). Las variables relacionadas a la vivienda (*Tipología de la Vivienda* y *Material de Construcción de la Vivienda*) sólo están presentes para los datos correspondientes a Feb2016 (*modelo 9*, Tabla 4.H).

Tabla 4.G. Modelo de referencia correspondiente a cada muestreo pasivo para estimar la influencia de categorías de efectos sobre la probabilidad de infestación a escala de Unidad Domiciliaria

Muestreo	Modelo	Categoría asociada	Variables explicativas incluidas en el modelo	AICc
Nov2014	Modelo7	CV+ EA	<i>TulR+Cviv+ Cvivposit</i>	272,51
Feb2015	Modelo4	EA	<i>Cviv+Cvivposit</i>	164,91
Nov2015	Modelo7	CV+ EA	<i>TulR+Cviv+ Cvivposit</i>	202,44
Feb2016	Modelo4	EA	<i>Cviv+Cvivposit</i>	158,14
Nov2016	Modelo4	EA	<i>Cviv+Cvivposit</i>	165,64
Feb2017	Modelo4	EA	<i>Cviv+Cvivposit</i>	142,33

Variable Respuesta: Infestación de la Unidad Domiciliaria. Categorías: EA: Entorno Asociado, CV: Intervenciones de Control Vectorial en la Vivienda. Variables explicativas: Cviv: Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 m., Cvivposit: Cantidad de Viviendas Infestadas en el buffer de 400 m., TulR: Tiempo al último Rociado de la Vivienda (= Control Químico).

Tabla 4.H. Modelos con mejor desempeño y orden (ranking) de selección utilizando el set de datos correspondiente a cada muestreo pasivo ($\Delta AICc \leq 3$) para estimar la influencia de categorías de efectos sobre la probabilidad de infestación a escala de Unidad Domiciliaria

Modelo	Categoría asociada	Variables explicativas incluidas en el modelo	Nov 2014	Feb 2015	Nov 2015	Feb 2016	Nov 2016	Feb 2017
Modelo4	EA	<i>Cviv+Cvivposit</i>	3	1	3	1	1	1
Modelo7	CV+ EA	<i>TulR+Cviv+ Cvivposit</i>	1	3	1	4	2	2
Modelo9	CFV+ CV+ EA	<i>Glim+Tviv+Mcons+Cviv+ Cvivposit</i>	*	*	*	2	*	*
Modelo10	EA	<i>CestPd+Cviv+Cvivposit</i>	4	2	*	3	3	3
Modelo13	CV+ EA	<i>TulR+CestPd+Cviv+Cvivposit</i>	2	*	2	*	*	4

Variable Respuesta: Infestación de la Unidad Domiciliaria. Categorías: EA: Entorno Asociado, CV: Intervenciones de Control Vectorial en la Vivienda. CFV: Características Físicas de la Vivienda. Variables explicativas: Cviv: Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 m., Cvivposit: Cantidad de Viviendas Infestadas en el buffer de 400 m., CestPd: Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m., TulR: Tiempo al último Rociado de la Vivienda (= Control Químico), Glim: Control Doméstico (= Grado de Limpieza), Tviv: Tipología de la Vivienda, Mcons: Material de Construcción de la Vivienda. Números: indica orden de aparición del modelo. *: el modelo mostró $\Delta AICc > 3$ para el set de datos. Tabla Anexa 4.C; (a-f), detalle completo por muestreo.

La Tabla 4.I detalla las variables explicativas de los modelos con mejor desempeño y los intervalos de confianza (IC95%) para los promedios ponderados de los coeficientes de las variables explicativas. Al analizar los datos de los muestreos de forma individual, los resultados sugieren influencia del Entorno Asociado dependiente de la variable analizada (a excepción de la *Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m.*, que no mostró efecto sobre la variable respuesta), débil influencia negativa del *Tiempo al último Rociado de la Vivienda (= Control Químico)* (intervalo de confianza 95% (IC95%) próximo a cero) y no se detectó efecto del *Grado de Limpieza (= Control Doméstico)* ni de la *Tipología de la Vivienda* sobre la infestación por *T. infestans* de la Unidad Domiciliaria (Tabla 4.I).

Las variables *Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 m. (Cviv)* y *Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400 m. (Cvivposit)* aparecen en todos los modelos seleccionados que presentan mejor desempeño (*modelos 4, 7, 9, 10 y 13*) y se repiten en los 6 muestreos (Tablas 4.H y 4.I). Los resultados estimaron efecto negativo (IC95% negativo, en Tabla 4.H) de *Cviv*, indicando

que la infestación se correlaciona inversamente con el número de viviendas dentro del buffer. Por otro lado, se demostró un efecto positivo de la *Cvivposit* sobre la probabilidad de infestación de las viviendas (IC95% positivo, en Tabla 4.I).

La variable *Tiempo al último Rociado de la Vivienda (= Control Químico)*, está presente en 2 de los 5 modelos seleccionados (*modelo 7* en todos los set de datos y *modelo 13* para los datos correspondientes a Nov2014, Nov2015 y Feb2017) y no se detectaron efectos medibles (IC95% incluye al valor cero) sobre la infestación (Tablas 4.H y 4.I). Excepcionalmente, al analizar el conjunto de datos correspondientes a los muestreos de Nov2014 y Nov2015 (*modelo13*) (Tabla 4.I), los resultados sobre los análisis de la variable *Tiempo al último Rociado de la Vivienda* mostraron el efecto inverso a lo esperado, a mayor tiempo de rociado, menor es la probabilidad de infestación (IC95% negativo, en Tabla 4.H).

Con respecto al *Grado de Limpieza (= Control Doméstico)* sólo está presente en el *modelo 9* correspondiente al análisis de los datos de Feb2016 (Tabla 4.H). El análisis no mostró diferencias entre las categorías de la variable (*Buena, Semi y Mala*) y la infestación (Tabla 4.I).

La variable *Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m.* está presente en 2 de los modelos seleccionados (*modelo 10* para todos los sets de datos, excepto en Nov2015 y *modelo 13* para datos correspondientes a Nov2014, Nov2015 y Feb2017, Tabla 4.H). En ninguna situación analizada, se encontró efecto significativo sobre la variable respuesta (Tablas 4.H y 4.I).

Las variables *Tipología de la Vivienda* y *Material de Construcción de la Vivienda* no aparecen en los modelos con mejor desempeño (sólo están presentes en el *modelo 9* correspondiente al análisis de los datos de Feb2016) y al analizarlas individualmente, no mostraron efecto medible sobre la variable respuesta (Tablas 4.H y 4.I). Estos resultados se complementan al presentado previamente, en el cual no se encontraron diferencias en la infestación según la tipología de las viviendas (Capítulo III, Tabla 3.E y Figura 3.H). Particularmente, en el análisis de los datos de Feb2016, se observó que una vivienda de *Material de Construcción de la Vivienda* de *plástico* presenta menor probabilidad de infestación que las viviendas de *adobe* (IC95% -0,403; -0,066).

Tabla 4.I. Intervalo de confianza por variable explicativa utilizando el set de datos correspondiente a cada muestreo a escala de Unidad Domiciliaria

Modelo	Fecha	TulR/ IC95%	Glim/ IC95%	Tviv2	Mconst2 Plástico IC95%	CestPd3	Cviv3 IC95%	Cvivposit3 IC95%
Modelo4	Nov2014	a	a	a	a	a	-0,2680; -0,116	0,9654; 1,6312
	Feb2015	a	a	a	a	a	-0,2515; -0,0734	1,2117; 2,4044
	Nov2015	a	a	a	a	a	-0,2244; -0,0478	0,8427; 1,7900
	Feb2016	a	a	a	a	a	-0,3355; -0,1208	1,2092; 2,1868
	Nov2016	a	a	a	a	a	-0,3788; -0,1145	1,3065; 2,5627
	Feb2017	a	a	a	a	a	-0,2386; -0,0383	1,0603; 2,2243
Modelo7	Nov2014	-0,0115; 0	a	a	a	a	-0,2680; -0,1168	0,9654; 1,6312
	Feb2015	NS	a	a	a	a	-0,2567; -0,0726	1,2073; 2,4028
	Nov2015	-0,0156; -0,004	a	a	a	a	-0,2244; -0,0478	0,8427; 1,7900
	Feb2016	NS	a	a	a	a	-0,3368; -0,1195	1,2091; 2,1869
	Nov2016	NS	a	a	a	a	-0,3739; -0,1054	1,3002; 2,5540
	Feb2017	NS	a	a	a	a	-0,2322; -0,0287	1,0637; 2,2419
Modelo9	Feb2016	a	NS	NS	-0,403; -0,066	NS	-0,2628; -0,1164	1,3140; 2,1772
Modelo10	Nov2014	a	a	a	a	NS	-0,2758; -0,1052	0,9577; 1,6261
	Feb2015	a	a	a	a	NS	-0,2683; -0,0711	1,2179; 2,4187
	Feb2016	a	a	a	a	NS	-0,3575; -0,0631	1,1993; 2,1772
	Nov2016	a	a	a	a	NS	-0,4031; -0,0655	1,3141; 2,6509
	Feb2017	a	a	a	a	NS	-0,2396; -0,0045	1,0778; 2,2131
Modelo13	Nov2014	-0,0125; -0,0002	a	a	a	NS	-0,2573; -0,1014	0,9834; 1,6512
	Nov2015	-0,0162; -0,0007	a	a	a	NS	-0,2231; -0,0266	0,8526; 1,8192
	Feb2017	NS	a	a	a	NS	-0,2318; -0,0098	1,0816; 2,2250

Variable Respuesta: Infestación de la Unidad Domiciliaria. Selección del Modelo: $\Delta AICc \leq 3$. Categorías: 1: Intervenciones de Control Vectorial en la Vivienda. 2: Características Físicas de la Vivienda. 3: Entorno Asociado. Variables explicativas: TulR: Tiempo al último Rociado de la Vivienda (= Control Químico), Glim: Grado de Limpieza (= Control Doméstico), Ttiv: Tipología de la Vivienda, Mcons: Material de Construcción de la Vivienda: Plástico en relación al Adobe, CestPd: Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m., Cvv: Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 m., Cvvposit: Cantidad de Viviendas Infestadas en el buffer de 400 m. IC: intervalo de confianza del 95%. a: ausente la variable en el modelo. NS: no significativo.

En síntesis, la Figura 4.F evidencia la representación gráfica de los efectos estimados (promedio de los intervalos de confianza de los distintos muestreos cuando el efecto se repite (positivo o negativo)). El eje “y” representa el promedio de los efectos (Intervalos de Confianza) de cada factor analizado a lo largo del período de estudio, mientras que el eje “x” indica cada variable analizada. Para el conjunto de datos, se observa que los diferentes modelos seleccionados, detectan efecto similar sobre la variable respuesta para las variables *Tipología de la Vivienda*, *Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m.*, *Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 m.* y *Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400 m.* Sin embargo, sólo resultaron significativas, las últimas dos variables mencionadas.

Se observa un efecto negativo de la variable *Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 m.* sobre la probabilidad de infestación de la Unidad Domiciliaria, efecto positivo de la *Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400 m.* y sin efecto (intervalo de confianza incluye al cero) de la *Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m.* en la probabilidad de infestación de la Unidad Domiciliaria.

Las variables *Tipología de la Vivienda* y *Material de Construcción de la Vivienda* no mostraron efecto medible sobre la variable respuesta, a excepción del set de datos de Feb2016, donde las viviendas de *plástico (Mcons)* evidenciaron un efecto negativo al compararse con las viviendas de *adobe*, mostrando menor probabilidad de infestación por *T. infestans*

Particularmente para el set datos de los muestreos Nov2014 y Nov2015, el efecto de todas las variables coincide, excepto en la variable *Tiempo al último Rociado de la Vivienda* que muestra efecto negativo sobre la infestación. Las variables relacionadas al *control vectorial* no detectaron efectos medibles (excepto para las fechas mencionadas en el *Control Químico*).

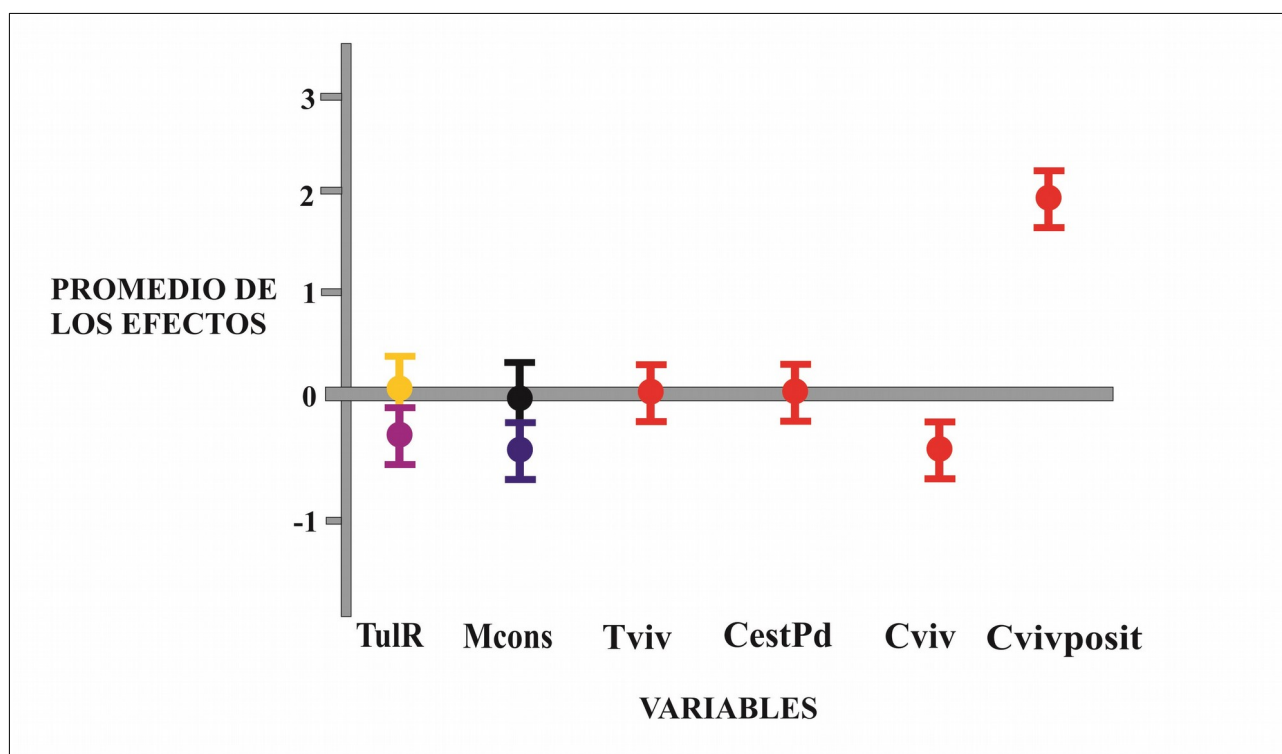


Figura 4.F. Representación gráfica de los principales resultados a escala de Unidad Domiciliaria, correspondientes a los 6 muestreos realizados. Variables explicativas: TulR: Tiempo al último Rociado de la Vivienda (= Control Químico), Mcons: Material de Construcción de la Vivienda: Plástico en relación al Adobe, Tviv: Tipología de la Vivienda, CestPd: Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m., Cviv: Cantidad de viviendas, Cvivposit: Cantidad de viviendas positivas. Promedio: Promedios de los Intervalos de Confianza para cada set de datos analizado cuando el efecto se repite (positivo o negativo). Efecto significativo cuando el intervalo excluye el valor cero. Por debajo de la línea gris: efecto negativo sobre la variable respuesta. Sobre la línea 0: efecto positivo sobre la variable respuesta. Códigos de color: resultados similares para el set de datos sobre la variable respuesta: Violeta: Datos correspondientes a Nov2014, Nov2015, Amarillo: Datos de Feb2015, Feb2016, Nov2016, Feb2017, Negro: Datos de Nov2014, Feb2015, Nov2015, Nov2016, Feb2017. Azul: Feb2016. Rojo: resultados similares en los 6 sets de datos.

Análisis de variables a escala de Localidad

Los análisis previos mostraron una Infestación Intradomiciliaria de las Localidades en estudio, superior al 50% (Capítulo III, Figura 3.F) y reinfestación durante el período de estudio.

Utilizando las 63 Localidades que contaban con más de 2 viviendas, se ajustaron 15 modelos lineales generalizados con diferentes combinaciones de las variables explicativas, a partir de los modelos de referencias para cada set de datos (Tabla 4.J) se seleccionaron los que presentaban mejor desempeño ($\Delta AICc \leq 3$) y su ranking de selección. Estos modelos se probaron independientemente para cada set de datos correspondientes a los 6 muestreos de colecta pasiva realizados (Tabla 4.K. Detalle completo por muestreo en Tabla Anexa 4.E, (a-f)).

En todos los modelos se incluyeron las variables *Departamento* y *Cantidad de Viviendas Evaluadas en el muestreo*, como una forma de controlar sus posibles efectos. Los modelos seleccionados (con menor valores de AICc) contienen variables que describen la *Cantidad de Viviendas Nuevas*, *Cantidad de Estructuras Peridomésticas en la Localidad* y *Tiempo al último Tratamiento de la Localidad (= Tratamiento Químico)*, siendo las 2 últimas variables las que se repiten en, al menos, en 4 muestreos (*Lmodelo1*, *Lmodelo6*). La variable *Distancia Media entre las Viviendas* sólo está presente para el set de datos correspondiente al muestreo de Nov2014 (*Lmodelo4*, *Lmodelo10*, Tabla 4.K). Las variables *Acceso al Agua Potable* y *Distancia a la Ruta pavimentada más cercana* sólo están presentes en el set de datos del muestreo Nov2015 (*Lmodelo2*, Tabla 4.K) Por último, no se observó influencia de las variables *Presencia de Centro Primario de Salud* y *Escuelas*, para ninguno de los sets de datos correspondientes a los 6 muestreos ($\Delta AICc > 3$ en los modelos donde están presentes las variables, Tabla Anexa 4.E (a-f)).

Modelo de referencia correspondiente a cada muestreo pasivo para estimar la influencia de categorías de efectos sobre la probabilidad de infestación a escala de Localidad

Muestreo	Modelo	Categoría asociada	Variables explicativas incluidas en el modelo	AICc
Nov2014	Lmodelo3	EA	<i>Depto+Ceval+ CestPdL</i>	153,53
Feb2015	Lmodelo	EA	<i>Depto+Ceval</i>	107,26
Nov2015	Lmodelo1	CQ	<i>Depto+Ceval+TultL</i>	136,09
Feb2016	Lmodelo3	EA	<i>Depto+Ceval+ CestPdL</i>	117,12
Nov2016	Lmodelo1	CQ	<i>Depto+Ceval+TultL</i>	136,09
Feb2017	Lmodelo7	CQ+EA+CVN	<i>Depto+Ceval+TultL+CvivgL+CvivNL</i>	110,48

Variable Respuesta : Cantidad de viviendas Positivas en la Localidad (= con infestación de *T. infestans*).
Categorías: EA: Entorno Asociado, CVN: Cantidad de Viviendas Nuevas, CQ: Control Químico en la Localidad. Variables explicativas presentes en todos los modelos: Depto: Departamento, Ceval: Cantidad de viviendas evaluadas por Localidad. Combinación según el modelo: CestPdL: Cantidad de estructuras peridomiciliarias, TultL: Tiempo al último Tratamiento de la Localidad, CvivNL: Cantidad de Viviendas Nuevas, CvivgL: Cantidad de viviendas Georeferenciadas.

Tabla 4.K. Modelos seleccionados y orden (ranking) utilizando el set de datos correspondiente a cada muestreo ($\Delta AICc \leq 3$) para estimar la influencia de categorías de efectos sobre la probabilidad de infestación a escala de Localidad

Modelo	Categoría asociada	Variables explicativas incluidas en el modelo	Nov 2014	Feb 2015	Nov 2015	Feb 2016	Nov 2016	Feb 2017
Lmodelo	EA	<i>Depto+Ceval</i>	*	1	7	2	3	*
Lmodelo1	CQ	<i>Depto+Ceval+TultL</i>	*	3	1	4	1	2
Lmodelo2	EA+CVN	<i>Depto+Ceval+Cap+CvivNL+distR</i>	*	*	5	*	*	*
Lmodelo3	EA	<i>Depto+Ceval+CestPdL</i>	1	2	4	1	4	*
Lmodelo4	EA	<i>Depto+Ceval+CvivoL+CvivNL+distM</i>	3	*	*	*	*	*
Lmodelo6	CQ+EA	<i>Depto+Ceval+TultL+CestPdL</i>	4	*	2	3	2	3
Lmodelo7	CQ+EA+CVN	<i>Depto+Ceval+TultL+CvivoL+CvivNL</i>	*	*	3	*	5	1
Lmodelo10	EA	<i>Depto+Ceval+CestPd+CvivL+distM</i>	2	*	*	*	*	*
Lmodelo11	CQ+EA	<i>Depto+Ceval+TultL+CvivL+CestPdL</i>	5	*	6	*	*	*

Variable Respuesta: Cantidad de viviendas Positivas en la Localidad (= con infestación de *T. infestans*). Categorías: EA: Entorno Asociado, CVN: Cantidad de Viviendas Nuevas, CQ: Control Químico en la Localidad. Variables explicativas: presentes en todos los modelos: Depto: Departamento, Ceval: Cantidad de viviendas evaluadas por Localidad. Combinación según el modelo: TultL: Tiempo al último Tratamiento de la Localidad, CvivNL: Cantidad de Viviendas Nuevas, CestPdL: Cantidad de estructuras peridomiciliarias, CvivoL: Cantidad de viviendas Georeferenciadas, distM: Distancia Media entre las viviendas. Cap: Acceso al Agua Potable, distR: Distancia a la Ruta pavimentada más cercana. Números: indica orden de aparición del modelo. *: el modelo muestra $\Delta AICc > 3$ para el set de datos. Tabla Anexa 4.E (a-f), detalle completo por muestreo.

La Tabla 4.L detalla las variables explicativas de los modelos con mejor desempeño, su efecto sobre la variable respuesta (Cantidad de viviendas positivas en la Localidad) y los intervalos de confianza (IC95%) para los promedios ponderados de los coeficientes de las variables explicativas.

Para el análisis particular de los muestreos Nov2014 y Feb2015 el conjunto de variables analizadas no mostró efecto sobre la variable respuesta (IC95% incluye al valor cero). Mientras que la variable

Cantidad de Viviendas Nuevas fue significativa para el set de datos correspondientes a Nov2015 (*Lmodelo2*, IC95% en Tabla 4.L), en el cual el número esperado de viviendas positivas en la Localidad es mayor al aumentar la cantidad de Viviendas Nuevas.

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a los muestreos Feb2016, Nov2016 y Feb2017 (Tabla 4.L). El *Departamento, Ángel Vicente Peñaloza* mostró diferencias significativas en comparación con *Rosario Vera Peñaloza*, presentando un efecto negativo (menor número de viviendas con infestación por *T. infestans*) (Tabla 4.L).

La variable *Cantidad de Viviendas Georeferenciadas en la Localidad* no es significativa para el set de datos correspondientes (*Lmodelo7*, IC95% en Tabla 4.L). Se encontró que el número esperado de viviendas positivas no está en relación con la cantidad de viviendas (Tabla 4.L).

Por otro lado, los modelos estimaron efecto negativo del *Tiempo al último Tratamiento de la Localidad*, es decir, que la cantidad de viviendas positivas disminuye cuando el tiempo al último rociado es mayor (*Lmodelo1* set de datos Feb2016, Nov2016; *Lmodelo6*, set de datos Feb2017, IC95% en Tabla 4.L).

No se encontró asociación entre las variables que conforman el *Entorno Asociado*, como la presencia de *Centro Primario de Salud y Escuelas*, *Acceso al Agua Potable* y *Distancia a la Ruta pavimentada más cercana*. Sin embargo, las dos primeras variables se encuentran presentes en los modelos que tuvieron un desempeño débil en todos los muestreos ($\Delta AICc > 3$).

Tabla 4.L. Intervalo de confianza para cada variable explicativa utilizando el set de datos correspondiente a cada muestreo a escala de Localidad.

Modelo	Fecha	Depto IC95%	TultL1	CvivNL2	CvivGL3	distM3	CestPdL3	Cap3	distR3
Lmodelo	Feb2016	-5,1404, -0,1667	a	a	a	a	a	a	a
	Nov2016	-3,9324, -0,2344	a	a	a	a	a	a	a
Lmodelo1	Feb2016	-4,9720, -0,2151	-0,0249, 0	a	a	a	a		
	Nov2016	-3,7598, -0,2329	-0,0298, 0	a	a	a	a		
	Feb2017	-7,5917, -1,3847	NS	a	a	a	a		
Lmodelo2	Nov2015	NS		0,0059, 0,4253				NS	NS
Lmodelo3	Feb2016	-4,8826, -0,5039	a	a	a	a	NS		
Lmodelo6	Feb2017	-11,0483, -1,5449	-0,0461, -0,001	a	a	a	NS		
Lmodelo7	Feb2017	-7,0469, -1,5449	NS	NS	NS	a	a		

Variable Respuesta: Cantidad de viviendas Positivas en la Localidad (= con infestación de *T. infestans*). Se remarcan las variables significativas para el análisis. Selección del Modelo: $\Delta AICc \leq 3$. Categorías: 1: Control Químico en la Localidad, 2: Cantidad de Viviendas Nuevas, 3: Entorno Asociado. Variables explicativas: presentes en todos los modelos: Depto: Departamento (AVP: Ángel Vicente Peñaloza en comparación a Rosario Vera Peñaloza). Combinación según el modelo: TultL: Tiempo al último Tratamiento de la Localidad, CvivNL: Cantidad de Viviendas Nuevas, CvivGL: Cantidad de viviendas Georeferenciadas, distM: Distancia Media entre las viviendas, CestPdL: Cantidad de estructuras peridomiciliarias. distR: Distancia a la Ruta pavimentada más cercana. Cap: Acceso al Agua Potable. IC: intervalo de confianza del 95%. a: ausente la variable en el modelo. NS: no significativo. Datos: Nov2014, Feb2015, Nov2015: NS.

Para concluir, la Figura 4.G detalla la representación gráfica de los efectos estimados (promedio de los intervalos de confianza de los distintos muestreos cuando el efecto se repite (positivo o negativo)), de las principales variables explicativas analizadas. Para estos conjuntos de datos sólo tres variables explicativas mostraron influencia sobre la variable respuesta analizada: *Departamento*, *Tiempo al último Tratamiento de la Localidad* y *Cantidad de Viviendas Nuevas en la Localidad* (marginalmente significativo para el set de datos correspondientes a Nov2015). Para el set de datos de los muestreos de Feb2016, Nov2016 y Feb2017, Ángel Vicente Peñaloza es el Departamento con menor número de viviendas infestadas. Con el set de datos de Nov2015 se observa un efecto positivo en la infestación de la Localidad al aumentar la cantidad de Viviendas Nuevas. Con los datos de Feb2016, Nov2016 y Feb2017 se observa un efecto negativo, donde la cantidad de viviendas positivas disminuye cuando el tiempo al último rociado es mayor.

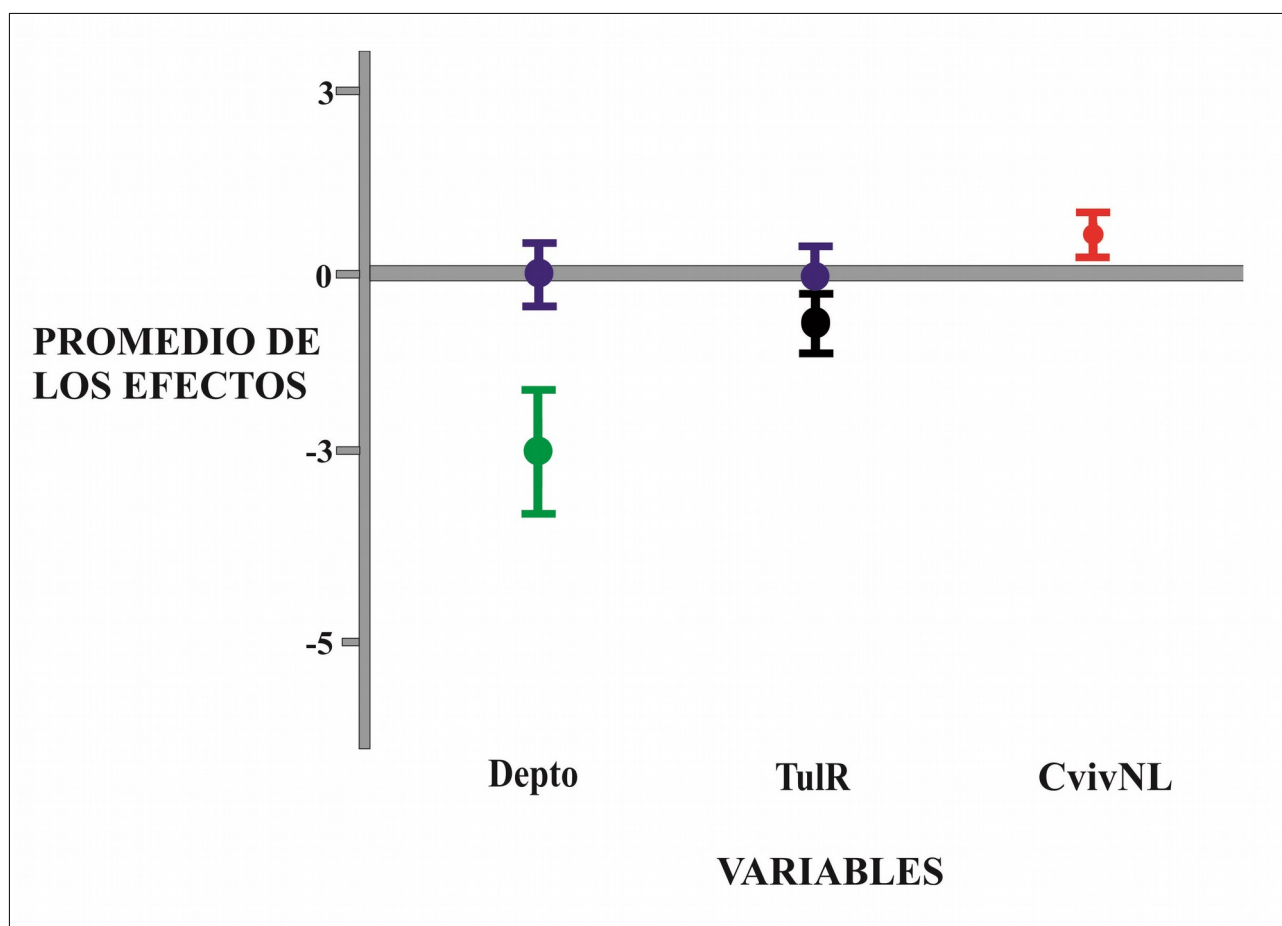


Figura 4.G. Representación gráfica de los principales resultados a escala de Localidad, correspondientes a los 6 muestreos realizados. Departamento (AVP: Ángel Vicente Peñaloza, en comparación con Rosario Vera Peñaloza), TultL: Tiempo al último Tratamiento de la Localidad, CvivNL: Cantidad de Viviendas Nuevas. Promedio: Promedios de los Intervalos de Confianza para cada set de datos analizado cuando el efecto se repite (positivo o negativo). Efecto significativo cuando el intervalo excluye el valor cero. Por debajo de la línea gris: Efecto negativo sobre la variable respuesta. Sobre la línea 0: Efecto positivo sobre la variable respuesta. Códigos de color: Resultados similares para el set de datos sobre la variable respuesta: Verde: Datos correspondientes a Feb2016, Nov2016, Feb2017, Negro: Datos de Feb2016, Nov2016, Feb2017. Azul: Datos de Nov2014, Feb2015, Nov2015. Rojo: Datos correspondientes a Nov2015. Sólo se representan las variables que resultaron significativas en algún set de datos.

Análisis de la infestación por *T. infestans* a escala Temporal y Espacial (período 2014-2017)

La infestación de *T. infestans* durante el período de estudio (2014-2017) se asoció con las variables *Estación* ($p=0,0026$), *Departamento* ($p=3,6e-06$), *Año* ($p=0,0209$) e *Interacción entre el Año y Departamento* ($p=1,8e-05$). En la Tabla 4.M se incluyó el resumen de las variables del modelo de ecuación de estimación generalizada (GEE) y el detalle en la Tabla 4.N. Las variables *Tiempo al último Rociado* y *Tipología de Vivienda* no resultaron significativas (Tabla 4.M). La selección del modelo se fundamentó en el valor de AIC. El modelo con interacción (*) triple (*Año*Estación*Departamento*) no resultó significativo.

Se encontró una mayor infestación al comienzo de la *Temporada Cálida* (*Primavera= Noviembre*) ($p=0,002$) (Tabla 4.N).

Los resultados indican una tendencia de disminución en la infestación desde 2014 a 2017 en *Ángel Vicente Peñaloza (AVP)* y *San Martín (SM)*. En *Rosario Vera Peñaloza (RVP)* no se observó esta disminución en la infestación. Los contrastes indican que para el *Año 1* (datos Nov2014 - Feb2015) no se observaron diferencias en la infestación de los 3 Departamentos. En el *Año 2* (datos Nov2015 - Feb2016). *RVP* presentó mayor infestación que *AVP* ($p=0,0179$) mientras que no se diferencia de *SM*. Sin embargo, no se observó diferencia en la infestación entre *SM* y *AVP*. En el *Año 3* (datos Nov2016 - Feb2017), se encontraron diferencias entre los 3 Departamentos (*AVP* vs *SM*: $p=0,0337$, *AVP* vs *RVP*: $p<0,0001$, *SM* vs *RVP*: $p=0,0001$) (Figura 4.H y Tabla Anexa 4.F; a).

A nivel departamental, la infestación fue en promedio más baja en *AVP*, con una tendencia significativa a disminuir durante los tres años de estudio, comenzando con 15% y terminando con 2,91% de viviendas positivas (3 de las 103 evaluadas) ($p=0,0015$), sin embargo la infestación se mantiene en el segundo y tercer año. *RVP* y *SM* mostraron una infestación promedio de 18,5% durante el período estudiado, aunque se observa una respuesta diferente en cada Departamento. La infestación en *SM* disminuyó hacia el tercer año ($p=0,0012$), pero no varió en los 2 últimos años. *RVP* resultó el Departamento con mayor infestación durante el período de estudio, con una tendencia creciente en los 3 años ($p=0,0455$) (Figura 4.H y Tabla Anexa 4.F; b).

A pesar de que durante el período de estudio se realizó intervención química en el área (Tabla Anexa 4.A), el *Tiempo al último Rociado* no estuvo asociado a la variación temporal de la infestación de *T. infestans* ($p=0,1507$, Tabla 4.M).

La predicción inicial del trabajo era que las Viviendas Nuevas presentarían menor infestación con respecto a las tradicionales, sin embargo, la *Tipología de la Vivienda* no resultó significativa en el análisis ($p=0,6529$) (Tabla 4.M).

Tabla 4.M. Resultados del modelo de ecuación de estimación generalizada (GEE) en el análisis a escala Temporal y Espacial para estimar la infestación de *T. infestans* (período 2014-2017)

	Infestación a escala temporal y espacial		
Variable explicativa	Grados de libertad	χ^2	p
Año	2	7,7351	0,0209*
Departamento	2	25,0691	3,6e-06*
Estación	1	9,05	0,0026*
TultR.c	1	2,07	0,1507
Tviv	2	0,85	0,6529
Año:Departamento	4	27,26	1,8e-05*

Variable Respuesta: Infestación de las viviendas. TultR.c: Tiempo al último rociado centrado en la vivienda. Ttiv: Tipología de la Vivienda *: Nivel de significancia $p<0.05$.

Tabla 4.N. Coeficientes del modelo de ecuación de estimación generalizada (GEE) en el análisis a escala Temporal y Espacial para estimar la infestación de *T. infestans* (período 2014-2017)

Factor	Coeficiente (Error)	Test Wald	p
(Intercepto)	-1,969 (0,285)	47,696	4,98e-12 ***
Año año2	-0,894 (0,386)	5,340	0,020*
Año año3	-1,898 (0,548)	12,002	5,31e-4***
Estación Primavera (Noviembre)	0,410 (0,134)	9,418	0,002**
Trult.c	-0,003 (0,002)	3,698	0,054
Año año2xDepto RVP	1,077 (0,483)	4,971	0,026*
Año año3xDepto RVP	2,541(0,613)	17,211	3,430e-05***
Año año2xDepto SM	0,326 (0,455)	0,512	0,474
Año año3xDepto SM	1,002 (0,606)	2,730	0,098
Tviv VT	0,129 (0,204)	0,405	0,525
Tviv VN+VT	-0,040 (0,243)	0,027	0,869

Variable Respuesta: Infestación de las viviendas. Variables explicativas: Año 2: datos de Noviembre2015 a Febrero2016, Año 3: datos de Noviembre2016 a Febrero2017 (Base de comparación :bc) Año 1: datos de Noviembre2014 a Febrero2015). Depto: Departamentos: RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín (bc: Ángel Vicente Peñaloza). Estación: bc: verano (Febrero). TultR.c: Tiempo al último rociado de la vivienda (centrado en la media). Tviv: Tipología de la vivienda: VN: Vivienda Nueva. VN+VT: Viviendas Conjunto (bc: VT: Vivienda Tradicional). x: interacción entre las variables. *: Nivel de significancia $p < 0,05$. AIC: 1439. Signif. Códigos: 0 ‘***’ 0,001 ‘**’ 0,01 ‘*’ 0,05. Contrastes por Departamento y Año en Tabla Anexa 4.F (a-b).

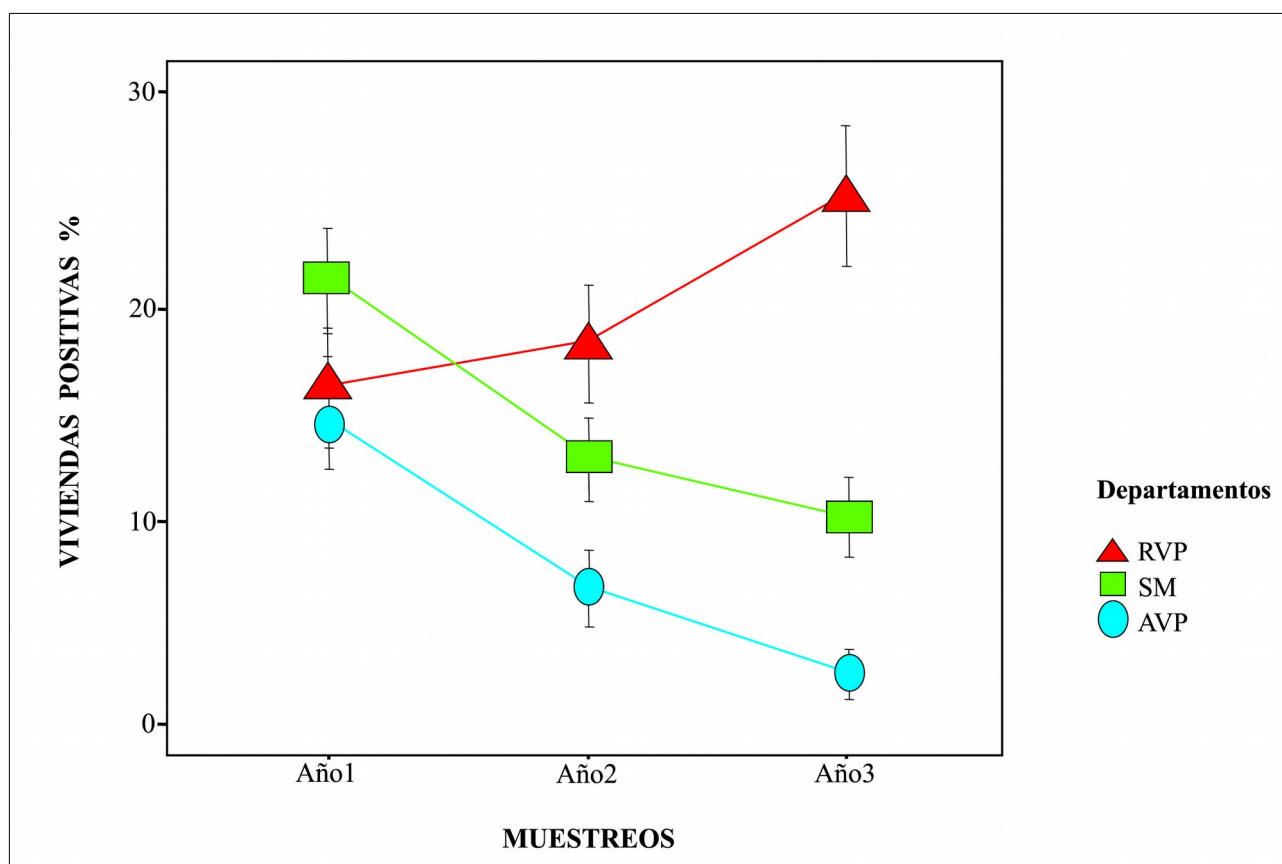


Figura 4.H. Análisis de infestación por Año según el Departamento. Años: Año 1: datos de Noviembre2014 a Febrero2015, Año 2: datos de Noviembre2015 a Febrero2016, Año 3: datos de Noviembre2016 a Febrero2017. Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza. RVP: Rosario Vera Peñaloza. SM: San Martín. Contrastes por Departamento y Año en Tabla Anexa 4.F (a-b).

ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

Los resultados del presente estudio demuestran que para la Unidad Domiciliaria, sólo el “Entorno Asociado” mostró efecto sobre la infestación en todos los muestreos en 2 variables: *Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400m* y *Cantidad de viviendas en el buffer de 400m*. La *Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400 metros* se asoció, de manera positiva, con la infestación por *T. infestans* (Tabla 4.I y Figura 4.F). Entre los factores que favorecen que se mantenga la infestación por *T. infestans* en una área, la reinvasión de triatominos desde el domicilio o estructuras vecinas juega un rol fundamental. La dispersión de *T. infestans* entre viviendas aledañas puede darse mediante la dispersión por vuelo de los adultos, asociado con la búsqueda de alimentos y/o pareja (Schofield 1994, Noireau & Dujardin 2001, Catalá et al. 2017, Abrahan et al. 2018). Esto se evidencia principalmente cuando existe una alta abundancia de dispersantes en una vivienda y de esta forma es más factible la reinfestación de la vecina (Cecere et al. 2002). La capacidad de dispersión ha sido objeto de investigación de numerosos estudios, donde se ha determinado que existe una distancia variable de la capacidad de dispersión para *T. infestans*, siendo su potencial mayor a 1,5 km (Schofield et al. 1992, Vazquez-Prokopec et al. 2004, Zu Dohna et al. 2009, Gürtler et al. 2014). Sumado a esto, las hembras fertilizadas pueden iniciar una nueva colonia sin necesidad de encontrar un macho en el nuevo hábitat y pueden dispersarse caminando, trasladándose entre hábitats con huevos y/o con buenas reservas de sangre (lo que no es posible en el transporte por vuelo) (Abrahan et al. 2011). Aunque algunos estudios reportan que las hembras presentan mayor frecuencia dispersiva (Schofield et al. 1992, Minoli & Lazzari 2006, Gurevitz et al. 2006, 2007), otros muestran resultados opuestos, siendo los machos los que presentan mayor dispersión (Vazquez-Prokopec et al. 2004, Ceballos et al. 2005, Abrahan et al. 2011). Del mismo modo, la reinfestación entre viviendas puede darse por dispersión pasiva, ya que, todos los estadios de *T. infestans* (huevos, ninfas y adultos) pueden transportarse en pertenencias humanas.

Por otro lado, la variable *Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 metros* mostró un efecto negativo sobre la infestación, indicando que si las viviendas se encuentran más agrupadas, existe menos presencia de *T. infestans*, coincidiendo con reportes previos en la misma área (Porcasi et al. 2007, Gorla et al. 2009). Sin embargo, cuando se realizó el análisis a nivel de Localidad (Tabla 4.L) este efecto no se observó. Es importante destacar, que no todas las viviendas de la Localidad fueron evaluadas, la muestra incluyó las áreas donde se instalaron Viviendas Nuevas y Tradicionales Vecinas (Figura 2.C). En áreas urbanizadas, la cantidad de viviendas puede mostrar un efecto positivo sobre la infestación; por ejemplo en Perú, se corroboró una relación significativa entre la

Infestación Intradomiciliaria y la cantidad de viviendas, encontrándose mayor infestación en zonas más pobladas. Además las viviendas cercanas facilitan la dispersión de *T. infestans* ya sea, para búsqueda de refugios o fuentes de alimento (Delgado et al. 2013).

Dentro de las variables relacionadas a la categoría “Entorno Asociado”, a diferencia de lo esperado, la *Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 m.* no mostró un efecto sobre la infestación. Por tal motivo, no se verificó la predicción que a mayor número de corrales, gallineros o conejeras aumentara la probabilidad de infestación. Esto se relaciona con la menor sensibilidad de las búsquedas pasivas en el peridomicilio discutida en el análisis del Capítulo III, donde las características estructurales del mismo (corrales con intrincadas enramadas, depósitos desordenados con cajas, ropa amontonada y/o abundante material en desuso), dificultan la visualización de *T. infestans* a los propietarios. Estos resultados difieren de otros hallazgos en Chaco seco (Cecere et al. 2004, 2006, 2013), donde se encontró asociación positiva entre la cantidad de *T. infestans* y las estructuras peridomésticas próximas a los domicilios. No obstante, lo evidenciado no indica que el peridomicilio no esté infestado en el área de estudio, las colectas activas realizadas demostraron una alta infestación en sitios peridomésticos, por lo tanto se verificó que existen las condiciones favorables de refugios y sitios de oviposición necesarios para el desarrollo de *T. infestans* (Cecere et al. 1998, Gurevitz et al. 2011). De esta forma, las numerosas estructuras peridomiciliarias cumplen un rol fundamental en el mantenimiento de abundantes poblaciones de triatominos (De Andrade et al. 1995, Cecere 1997, Gürtler et al. 2004, Abad-Franch et al. 2009). La ineficacia de los insecticidas piretroides en este tipo de estructuras fomentó la evaluación y desarrollo de técnicas alternativas para controlar las poblaciones peridomésticas de *T. infestans*. En algunas localidades del área de estudio, se realizó el reemplazo de los corrales antiguos por nuevas construcciones (alambradas o bloques de cemento). Sin embargo, esta construcción no garantiza la ausencia de reinfestación por *T. infestans*, ya que los mismos, se construyeron cerca de los corrales tradicionales infestados. En los corrales nuevos, *T. infestans* sólo puede esconderse en pequeñas grietas en las paredes de cemento o espacios entre los postes y techos, por lo que la visibilidad de los insectos es mayor que en los corrales tradicionales (Gorla et al. 2013)

Entre las variables que se definieron para “Características Físicas” e “Intervenciones de Control Vectorial” en la Vivienda, no se encontraron efectos sobre la infestación en la Unidad Domiciliaria. En primer lugar las Viviendas Nuevas presentaban dos tipos de *Material de construcción* (ladrillo o plástico, Tabla 4.D y Figura 4.A). Particularmente para los datos de Feb2016 se encontró que las viviendas de plástico presentaban menor infestación que el adobe, no obstante, el resto de los análisis no evidenciaron diferencias entre los distintos tipos de Material de Construcción. En

segundo lugar, para los niveles establecidos para el *Grado de Limpieza de las viviendas*, los resultados no evidenciaron que una vivienda ordenada, sin grietas visibles y sin animales dentro de la misma mostrara menor infestación. Esto podría deberse, a que esta variable fue incorporada al diseño luego de haber definido la muestra de viviendas que serían incluidas en los relevamientos de campo. Por tal motivo entre las 3 *Tipologías de Viviendas* estudiadas, el *Grado de limpieza* predominante fue *Semi* (limpieza intermedia, Tablas 4.A y 4.D), generando que el diseño esté desbalanceado. En otras áreas, la limpieza de viviendas por medio de la participación de toda la comunidad se correlaciona directamente con la disminución de la probabilidad de reinfestación por triatominos y la abundancia de *T. infestans* (Lardeux et al. 2015).

Por último, en relación a la variable *Tiempo al último Rociado de la Vivienda* se demostró una débil y negativa asociación con la infestación sólo para el set de datos Nov2014 y Nov2015, donde al aumentar el tiempo al último Rociado en las Viviendas, la probabilidad de infestación disminuyó (Tabla 4.I y Figura 4.F). A escala Localidad estos resultados se observaron para los datos de Feb2016, Nov2016 y Feb2017 (Tabla 4.L y Figura 4.G). En otros estudios, la aplicación de insecticidas en el intradomicilio se asoció negativamente con la infestación doméstica y la abundancia de insectos encontrados en los hogares (Gaspe et al. 2015). Las posibles causas del efecto limitado del *Tratamiento Químico* en el área pueden atribuirse, en parte, a la cobertura incompleta de evaluación y rociado de las viviendas por parte del PPCHLR. La frecuencia predominante del Tratamiento Químico durante la década 2005-2015 fue de 1 ó 2 rociados por vivienda. Además, 131 viviendas (de las 397 incluidas en la muestra en estudio) no recibieron tratamiento químico en todo el período según los registros del PPCHLR. La baja frecuencia de rociado de las viviendas puede deberse a la inaccesibilidad de algunas Localidades o viviendas cerradas al momento de los controles del Programa vectorial. Se ha reportado que viviendas que se encontraban positivas y no recibieron tratamiento químico por encontrarse cerradas al momento de la evaluación entomológica, pueden reinfestar a otras viviendas (Barbu et al. 2013, Amelotti et al 2015).

Particularmente para la escala de Localidad, en este estudio, no se encontró asociación entre la infestación y la presencia de *Centro Primario de Salud y Escuelas* (Tabla 4.L, ausencia de las variables entre las que mostraban diferencias significativas). Por tal motivo, sería necesario potenciar, en estas instituciones, la educación sobre la prevención de la Enfermedad de Chagas. Considerar las problemáticas sobre la transmisión vectorial y las principales características de *T. infestans* como insecto vector en el marco institucional de las escuelas, brinda las herramientas necesarias para emprender acciones directas que lleven a la disminución de los factores de riesgo

relacionados con la transmisión de la enfermedad (Catalá 2000, Crocco et al. 2005, 2010, Sanmartino et al. 2012).

En relación al análisis temporal, los resultados indicaron que la infestación por *T. infestans* durante los 3 años de seguimiento resultó ser mayor en Noviembre (primavera) que en Febrero (verano) (Tablas 4.M y 4.N) probablemente como consecuencia de las ninfas que sobrevivieron al invierno y mudaron a adultos. Estos datos coinciden con reportes realizados previamente (Gürtler 1999). Sin embargo, estos resultados difieren de estudios empíricos que predicen que la dispersión de *T. infestans* es más probable que ocurra a finales del verano (Marzo) (Vazquez-Prokopec et al. 2004, Vazquez-Prokopec et al. 2006, Gurevitz et al. 2006). Conocer la estacionalidad de la dispersión de *T. infestans* en cada área permite optimizar el momento adecuado para aplicar las actividades de control vectorial (Gorla 1991). Es importante destacar que se encontraron diferencias a nivel Departamental y que el análisis identificó una interacción con el año de muestreo, particularmente con los datos de 2016-2017, donde se encontraron diferencias entre los 3 Departamentos (Figura 4.H y Tabla Anexa 4.F; a-b), coincidentes con la localización del cluster de alta infestación en Rosario Vera Peñaloza y San Martín (Figura 3.G). Por último, los resultados no mostraron diferencias en la infestación según el *Tiempo al último Rociado de la Vivienda y Tipología de la vivienda* (Tablas 4.M y 4.N).

La combinación de todos los resultados permitió evidenciar que la infestación por *T. infestans* aumenta en áreas con menor número de viviendas y con más cantidad de viviendas positivas en un buffer de 400m. Estas características son comunes en las Localidades del sur de La Rioja, correspondientes a los Departamentos de San Martín y Rosario Vera Peñaloza. Uno de los resultados más importantes del presente trabajo es que el efecto de rociado de las viviendas no es suficiente para el control vectorial en el área, incluso en las viviendas que recibieron tratamiento químico con insecticidas durante el período de estudio. Adicionalmente, en los análisis exploratorios se incluyó la variable *Cantidad de veces que recibió Tratamiento Químico la Vivienda*, sin embargo, no se obtuvieron resultados diferentes a lo informado y, por estar correlacionada con las variables estudiadas se eliminó. A pesar de que los insecticidas piretroides están ampliamente difundidos, se detectan a menudo algunos problemas de costo y efectividad, principalmente en función de su reducida actividad en el peridomicilio. Ante lo cual, se debería considerar, adicionar a los protocolos del control químico de *T. infestans* en el área de estudio nuevas acciones de control. En otras áreas, la utilización de formulaciones microencapsuladas (de liberación lenta de los principios activos y mayor efecto residual) disminuyó significativamente la infestación intradoméstica (y la densidad de insectos por vivienda evaluada) (Dias & Jemmio 2008,

Alarico et al. 2010, Gorla et al. 2015). También es conocida la eficacia de las trampas utilizando hongos entomopatógenos (Pedrini et al. 2009, Forlani et al. 2014, 2015). Actualmente, en el laboratorio del CRILAR (La Rioja), se están realizando ensayos con el hongo *Beauveria bassiana*, para la producción de formulados de bajo costo y poder aplicarlo sobre *T. infestans*, en el área de estudio, como insecticida biológico.

Adicionalmente, los resultados sugieren la contribución de otros factores relacionados con la infestación que no fueron explícitamente incluidos en nuestros modelos. Por ejemplo, las diferencias en infestación observadas entre los Departamentos podría ser atribuida a que en Ángel Vicente Peñaloza se encuentran características, que en conjunto, explicarían su menor infestación, por ejemplo: cercanía a la ciudad capital, calles asfaltadas (mayor urbanidad), mayor cantidad de Centros de Salud y de Escuelas. En la zona urbana de Arequipa (Perú) se demostró que las calles funcionaban como barreras para la dispersión de *T. infestans* y por lo tanto tenían una gran influencia en la distribución espacial de la infestación (Barbu et al. 2013). Por el contrario, en San Martín y Rosario Vera Peñaloza, las Localidades se encuentran aisladas en el territorio, formando pequeños poblados o parajes dispersos, comunicados por caminos de tierra deteriorados e intransitables en algunas épocas del año. Aunque hay presencia de Centros primarios de Salud y Escuelas, la cantidad de los mismos es menor que en Angel Vicente Peñaloza.

CAPÍTULO V

TEORÍA DE METAPOBLACIONES Y SU RELACIÓN CON LA INFESTACIÓN POR *TRIATOMA INFESTANS*



TEORÍA DE METAPOBLACIONES Y SU RELACIÓN CON LA INFESTACIÓN POR *TRIATOMA INFESTANS*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La ecología del paisaje considera el estudio de la dinámica espacial y la distribución de una especie en función de las características de su hábitat, principalmente aplicado a sistemas naturales de ambientes fragmentados (Guisan & Zimmermann 2000, Leibold et al. 2004). Desde este enfoque el área se caracteriza por la presencia de **parches** con los recursos necesarios para que las especies puedan establecerse, los cuales difieren entre sí en cuanto a su estructura, tamaño y calidad. Los parches de buena calidad son definidos como áreas donde la disponibilidad de refugios y fuentes de alimento garantizan que el éxito reproductivo de la especie sea mayor que la mortalidad local. Además, es la base para definir la estructura espacial del hábitat que puede ser interpretado como una metapoblación. Entre las subpoblaciones se pueden producir fenómenos de emigración e inmigración de individuos, dependiendo de la capacidad de movilidad específica de cada especie (Bicca-Marques 2003). Esto es particularmente importante en el estudio de organismos, ya que existe una elevada diversidad en la ocupación del paisaje, incluso entre especies filogenéticamente relacionadas.

El término metapoblación fue introducido por Levins (1969) y describe poblaciones locales con cierto grado de conectividad, que permiten el intercambio genético entre áreas espacialmente separadas, como consecuencia de la migración de los organismos (Hanski & Simberloff 1997). Uno de los objetivos de estudiar las metapoblaciones es explorar las condiciones en que la red de subpoblaciones es capaz de persistir temporalmente en un área determinada.

El modelo metapoblacional clásico de Levins (1969) asume un número de parches de hábitat discretos, del mismo tamaño y conectados entre sí vía migración. La dinámica de las subpoblaciones dentro de los parches persisten con eventos locales de extinción y colonización. Hanski (1999) predice un umbral de densidad de parches necesarios para la persistencia de la metapoblación.

Matemáticamente el modelo metapoblacional clásico está representado de la siguiente manera (en Hanski 1999):

$$dp/dt = cP(1-p) - eP$$

donde, dp/dt = tasa de cambio de la ocupación de parches (forma diferencial de la ecuación), P = proporción de parches, c = tasa de colonización (probabilidad de que un parche sea colonizado por unidad de tiempo), e = tasa de extinción (probabilidad de que un parche ocupado se transforme en no ocupado (extinción local) por unidad de tiempo), $1-p$ = proporción de parches no ocupados. Este modelo asume que todos los parches y poblaciones locales son similares y no considera diferencias locales de las subpoblaciones sobre la colonización de los parches vacíos (Hanski & Simberloff 1997).

Para aproximar el modelo de Levins a situaciones reales, Hanski (1994) formuló el Modelo de Función de Incidencia (IFM), considerando las siguientes variables: **(1)** diferentes tamaños de parche, **(2)** diferentes distancias entre ellos y **(3)** diferente posibilidad de recibir inmigrantes desde fuera del sistema de parches. Esto es válido si la dinámica en el sistema continúa siendo el resultado del balance entre los dos procesos centrales: extinción y colonización de la especie (Hanski 1994, 1998A, Ovaskainen & Hanski 2003, Hanski et al. 2004). En este sentido los IFM asumen que la ocupación (presencia-ausencia de una especie en un conjunto de parches) está asociada a las características espaciales y biogeográficas del hábitat (Sjogren-Gulve 1996, Walker et al. 2003). Estos aportes a la teoría clásica (Levins 1969) se convirtieron en elementos claves para estimar la estabilidad de la metapoblación, que de otro modo no podría aplicarse a numerosos estudios ecológicos y biológicos (Doncaster et al. 1997, Hanski & Simberloff 1997).

El Modelo de Función de Incidencia estima la probabilidad a largo plazo de que un parche esté ocupado (incidencia J_i) como resultado de la colonización (C_i) y extinción (E_i):

$$J_i: C_i / (C_i + E_i)$$

presentando los siguientes supuestos: **(1)** los eventos de extinción se encuentren inversamente relacionados con el tamaño de los parches, **(2)** los eventos de colonización se encuentren inversamente relacionados con el aislamiento de los fragmentos y **(3)** las tasas de extinción y colonización son eventos independientes (Hanski 1994, 1998B, Ovaskainen & Hanski 2003). Los IFM pueden ser utilizados de forma descriptiva, en la distribución de la especie en el ambiente en estudio o para predecir el cambio en el tiempo del patrón a través de la utilización de modelos lineales generalizados (GLM). En estos modelos se utiliza como variable respuesta la relación de presencia o abundancia de la especie en función de la estructura y composición espacial de los

parches (Hanski & Ovaskainen 2000, Ovaskainen & Hanski 2003, Hanski et al. 2004). Posteriormente, si se cumplen los supuestos mencionados, los resultados permiten la realización de modelos estocásticos de ocupación de parches y la simulación del comportamiento de la especie en tiempo y espacio (Guisan & Zimmermann 2000, Hanski 2002).

Como se mencionó, el área de estudio se caracteriza por una recurrente reinfestación por *T. infestans* en las viviendas, a pesar de las acciones de control vectorial sistemático desde el año 2005 (Capítulo III). Las características de la especie y la disposición de las poblaciones de *T. infestans* en el espacio, permiten analizarla en el contexto de la teoría de metapoblaciones. Según Begon et al. (2009) para que una especie pueda ser analizada desde la perspectiva de esta teoría, debe presentar las siguientes características: elevada capacidad de dispersión, alta tasa reproductiva, ciclo de vida corto, hábitat altamente específico y tendencia a experimentar extinciones locales. *Triatoma infestans* cumple con estas condiciones, ya que es una especie adaptada al ambiente doméstico, tiene buena capacidad de dispersión (Schofield et al. 1992, Abraham et al. 2011) y en condiciones óptimas de temperatura puede presentar ciclos de vida anuales (Szumlewicz 1976, Gorla & Schofield 1989, Gorla 1991). Además, las acciones de control utilizando insecticidas piretroides extinguen algunas poblaciones locales, sin embargo, existen poblaciones remanentes que reinician el proceso de recolonización de los parches (Cecere et al. 2006).

Estudios previos, han utilizado la teoría de metapoblaciones para estimar tasas de establecimiento en sitios no infestados entre tiempos consecutivos (t y $t + 1$) con datos espacio-temporales de *T. infestans*, mostrando una estacionalidad en la dispersión del insecto (Zu Dohna et al. 2007, 2009). Estos estudios demostraron un mayor establecimiento de *T. infestans* entre Mayo y Noviembre y no se observó asociación del tamaño de la población con el número de dispersantes por sitio infestado. Además, describen los sitios que actúan como las principales fuentes de dispersantes (Zu Dohna et al. 2007). Estos resultados se confirman en Zu Dohna et al. (2009), donde se realiza el análisis incluyendo distancia entre sitios, su historial de infestación y de rociado en relación a la tasa de establecimiento, y se comprobó un potencial de dispersión mayor a 1,5 km para *T. infestans* en campo abierto.

Por otro lado, la importancia en la utilización de los IFM para estimar la distribución espacial, permitió identificar los sitios peridomésticos considerados como hábitats principales (sitios de mayor ocupación y abundancia) para *T. sordida* (Rodríguez-Planes et al. 2017). En este trabajo, los hábitats primarios (con más disponibilidad de refugio y alimento) fueron los gallineros y árboles (donde las gallinas se alimentaban), mientras que se consideró como hábitats secundarios a los corrales de cabras, ovejas y/o cerdos, ya que presentaron menor abundancia. Además, como la

capacidad de dispersión de *T. sordida* estuvo estrechamente asociada con la fracción de sitios ocupados, los autores realizaron predicciones de la ocupación del insecto en todos los hábitats principales (Rodríguez-Planes et al. 2017).

En este estudio, se considera que el área presenta los elementos necesarios para que el sistema funcione como una metapoblación: **(1)** viviendas con estructuras peridomiciliarias asociadas que constituyen el parche que ocupa *T. infestans*, **(2)** distancia variable entre parches, **(3)** efecto combinado del área y la calidad del parche (según tipo de vivienda y peridomicilio asociado) y **(4)** tasas de extinción y colonización variables, relacionadas a la frecuencia de intervenciones de control con insecticidas. En este contexto, se evalúa la disponibilidad de un conjunto de parches en el área, con diferentes características y su relación con la probabilidad de ocupación por *T. infestans*.

Objetivo General

Estimar el efecto de la disminución de la calidad del parche por instalación de Nuevas Viviendas, en un contexto metapoblacional que describa la prevalencia de infestación por *T. infestans*.

Objetivos Específicos

1. Analizar la ocupación del parche por *T. infestans* en función de su Calidad.
2. Analizar la dinámica entre los estados de ocupación por *T. infestans* de cada parche en un momento de tiempo ($t1$) y la siguiente evaluación ($t + 1$).
3. Modelar la ocupación del parche en relación a la Calidad, Tamaño y Distancia entre los mismos.

Hipótesis

Mecanismo: La abundancia de cada subpoblación depende de la “calidad” de los parches que conforman el sistema. Los parches con más cantidad de recursos y refugios tienen la capacidad de albergar más individuos, menor probabilidad de extinción local y mayor probabilidad de enviar emigrantes a otro parche. Hipótesis original (3.A): En el contexto de la teoría de metapoblaciones, la calidad del parche para *T. infestans* disminuye sólo si la instalación de una Vivienda Nueva va acompañada de la desaparición de la antigua Vivienda Tradicional y una mejora del peridomicilio.

Predicción: el reemplazo de parches de alta calidad por parches de baja calidad para *T. infestans*, disminuirá la probabilidad de colonización de esta especie.

Hipótesis 3.B: Debido a que, luego de los relevamientos de campo, en el área de estudio no se detectaron casos donde la construcción de Viviendas Nuevas fuera acompañada de la eliminación de la Vivienda Tradicional, la hipótesis original fue modificada. Se considera que los parches en el área de estudio presentan diferentes calidades, siendo la Vivienda Nueva, construida en lugares donde previamente no existía Vivienda Tradicional, la de menor calidad desde el punto de vista de *T. infestans*. Predicción: la probabilidad de colonización disminuirá en los parches de menor calidad.

METODOLOGÍA

Determinación del sistema metapoblacional en estudio

Con la información recolectada en los relevamientos de campo sobre *Tipología de Vivienda* y las principales estructuras peridomiciliarias asociadas (Capítulo IV), se consideró al área de estudio como un conjunto de parches con características propias de calidad y tamaño.

Se denominó **parche** al conjunto de cada vivienda y su peridomicilio asociado. Se definió **(1) calidad del parche** a la condición para proveer refugio a *T. infestans* (en términos de la probabilidad de ocurrencia de la especie) y fuentes de alimento que garanticen el éxito reproductivo y una mayor permanencia en ese parche. La calidad se dividió en 5 categorías en relación al Tipo de Vivienda que lo forma y la presencia (o ausencia) de peridomicilio (Tabla 5.A). **(2)** El *tamaño de los parches* representa la suma en metros cuadrados de la superficie de la vivienda (según su tipología) y las estructuras peridomiciliarias asociadas (según el promedio de m² asignado a cada una), por lo que está en relación directa con el número de estructuras que componen cada parche. La *distancia entre los parches* fue estimada en metros (en relación al más cercano) utilizando el programa Q-gis (v 3.0).

Las categorías seleccionadas en relación a la *Calidad* y el *Tamaño* asignado para cada estructura que conforma el parche, se describen a continuación (Tablas 5.A y 5.B):

Tabla 5.A. Calidad del parche en términos de probabilidad de ocurrencia de *T. infestans*

Calidad	Características	Código
Calidad 1	Vivienda Nueva sin peridomicilio.	<i>C1</i>
Calidad 2	Vivienda Tradicional sin peridomicilio.	<i>C2</i>
Calidad 3	Vivienda Nueva con peridomicilio.	<i>C3</i>
Calidad 4	Vivienda Tradicional con peridomicilio	<i>C4</i>
Calidad 5	Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio	<i>C5</i>

Tabla 5.B. Tamaño del parche según la estructura que lo conforma

Tipo de estructura	Tamaño asignado (m ²)
Vivienda Nueva	40
Vivienda Tradicional	50
Vivienda Conjunto	90
Corral	85
Gallinero	75
Conejera	35
Depósito	60

Variables consideradas para la estimación del Tamaño del parche (área): suma en metros cuadrados de la superficie de la vivienda (según su tipología) y las estructuras peridomiciliarias asociadas a la misma.

A partir de estos datos, se definieron en el área de estudio un total de 397 parches: 43 de *calidad 1*, 107 de *calidad 2*, 50 de *calidad 3*, 120 de *calidad 4* y 77 de *calidad 5*. Los parches presentaron diferentes tamaños que variaron entre 40 m² y 1770 m², con una superficie promedio de 485 m². Las principales características de los parches por Departamento (Tabla 5.C) y su ubicación (Figura 5.A) en el área se mencionan a continuación:

Tabla 5.C. Características de los parches en el estudio

Parches	Características	AVP	RVP	SM
Descripción	Cantidad de parches	122	110	165
	Tamaño del parche (m ²) (min-max)	40-1570	40-1770	40-1575
Calidad del parche	Calidad 1	22	9	12
	Calidad 2	60	14	33
	Calidad 3	12	17	21
	Calidad 4	22	42	56
	Calidad 5	6	28	43

Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. Calidad: Calidad 1: Vivienda Nueva sin peridomicilio, Calidad 2: Vivienda Tradicional sin peridomicilio, Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio, Calidad 5: Vivienda Conjunto con peridomicilio.

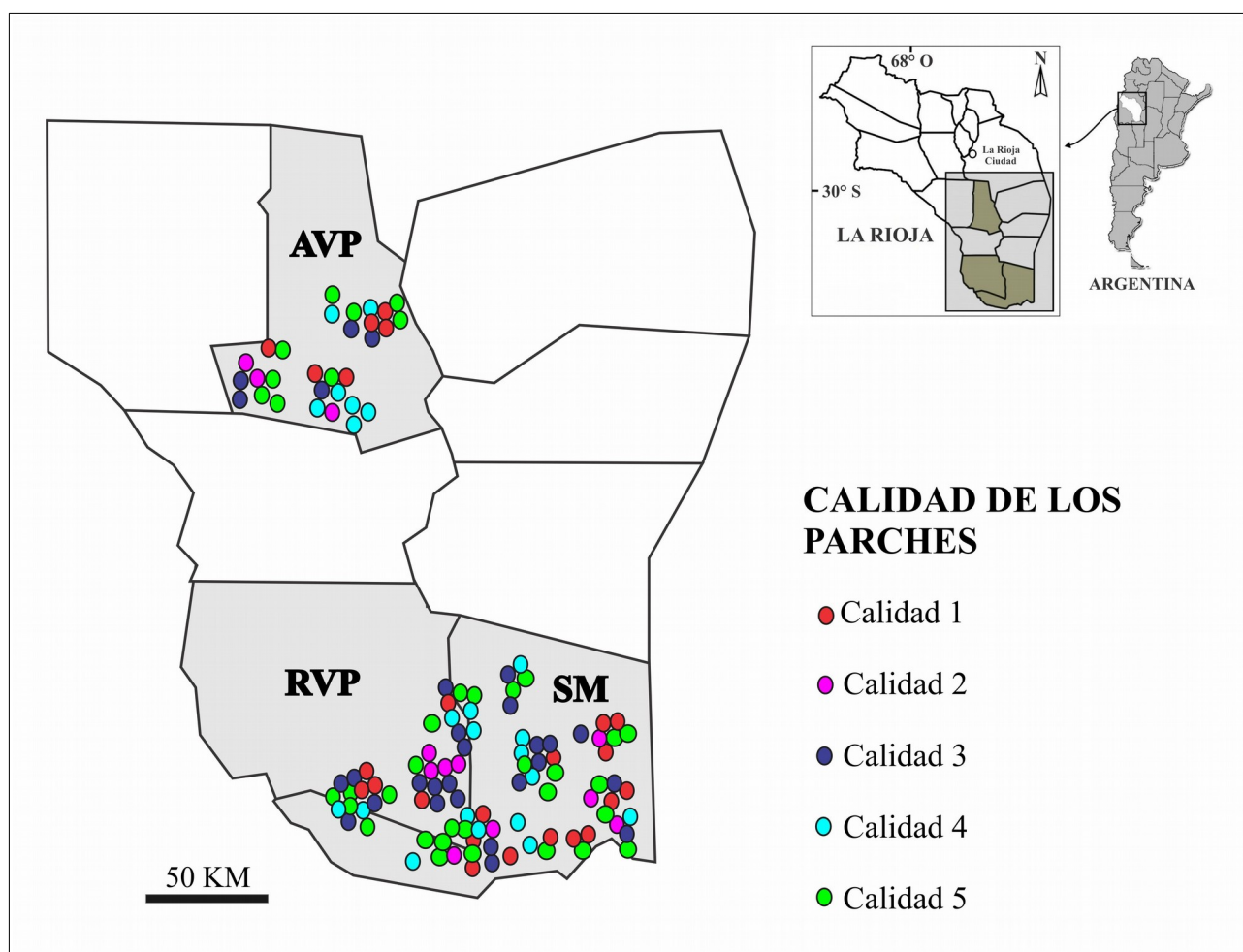


Figura 5.A. Ubicación geográfica de los parches según su calidad en el área de estudio. Calidad: Calidad 1: Vivienda Nueva sin peridomicilio, Calidad 2: Vivienda Tradicional sin peridomicilio, Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio, Calidad 5: Vivienda Conjunto con peridomicilio. El tamaño del parche no se representa en la Figura. Número total de parches: 397.

Análisis de datos

Ocupación de los parches

Se verificó la presencia o ausencia de *T. infestans* en los parches dentro del área de estudio en 6 ocasiones (Noviembre2014, Febrero2015, Nov2015, Feb2016, Nov2016 y Feb2017), para ello se utilizaron los datos estimados a partir de la colecta pasiva (descripción de la metodología en Capítulo II). Un parche se consideró “**ocupado**” cuando los propietarios encontraron al menos un ejemplar de *T. infestans* (ninfa o adulto) en el interior de la vivienda o peridomicilio. En caso contrario, se consideró que el parche era “**negativo**” (= **no ocupado**). Se realizó el análisis de estadística descriptiva para obtener la cobertura de evaluación en los parches según la colecta pasiva (porcentaje de parches evaluados en relación al total) y porcentaje de ocupación de los mismos según la calidad (número de parches ocupado con *T. infestans* por calidad/número de parches evaluados por calidad) * 100.

Transición del estado del parche en el tiempo (tI) al tiempo ($t + I$) por muestreo consecutivo

Todos los parches se analizaron siguiendo el mismo protocolo para conocer los cambios en la ocupación de los mismos entre períodos de tiempo consecutivos: cada fecha donde se realizó la colecta pasiva se consideró como tiempo tI y la siguiente colecta consecutiva se denominó $t+I$. La combinación del estado del parche en los 2 tiempos consecutivos constituyen 4 categorías probables: *negativo*, *positivo*, *colonizado* y *extinto*, que se describen en la Tabla 5.D. Este análisis se repitió para cada transición ocurrida entre los 6 muestreos consecutivos durante el período analizado (Tabla 5.E).

Tabla 5.D. Estado del parche desde el tiempo $t1$ al tiempo $t + 1$

Estado del parche	Tiempo $t1$	Tiempo posterior $t+1$	Código
Negativo	Sin presencia de <i>T. infestans</i>	Sin presencia de <i>T. infestans</i>	00
Positivo	Con presencia de <i>T. infestans</i>	Con presencia de <i>T. infestans</i>	11
Colonizado	Sin presencia de <i>T. infestans</i>	Con presencia de <i>T. infestans</i>	01
Extinto	Con presencia de <i>T. infestans</i>	Sin presencia de <i>T. infestans</i>	10

Con presencia: Parche ocupado con ninfas y/o adultos de *T. infestans*. Se consideró colonizado como la presencia de ninfas y/o adultos de *T. infestans* en un parche previamente no ocupado.

Tabla 5.E. Muestreos considerados para evaluar la transición del estado del parche entre el tiempo $t1$ al $t + 1$

Tiempo $t1$	Código	Tiempo posterior $t+1$	Código	Transición
Nov2014	$t1$	Feb2015	$t2$	$t1$ a $t2$
Feb2015	$t2$	Nov2015	$t3$	$t2$ a $t3$
Nov2015	$t3$	Feb2016	$t4$	$t3$ a $t4$
Feb2016	$t4$	Nov2016	$t5$	$t4$ a $t5$
Nov2016	$t5$	Feb2017	$t6$	$t5$ a $t6$

Las fechas corresponden a cada colecta pasiva.

Para cada transición se analizó la frecuencia de combinación de estados, con la finalidad de explorar la relación con la calidad del parche por medio del análisis de proporciones.

Dinámica de los parches en el tiempo

La cobertura de evaluación no fue homogénea en todo el área (Capítulo III), por tal motivo se analizó la dinámica entre parches (cambio del estado en el tiempo (tI) al tiempo ($t + I$) sin considerar la calidad) sobre la submuestra de parches evaluados en los 6 muestreos ($n=123$) para garantizar que el análisis temporal sea consecutivo en el tiempo y evitar la ausencia de datos.

Siguiendo el protocolo descrito anteriormente para definir el estado de los parches (Tabla 5.D), se analizó la dinámica entre parches en el área en 6 tiempos consecutivos, entre Nov2014 y Feb2015 y se calculó la tasa de colonización y extinción en forma general y por calidad de parche. Por último, siguiendo los mismos criterios utilizados para el análisis espacial descrito en el Capítulo III (Kulldorff 2006), con los datos de parches que permanecieron negativos, en al menos 5 muestreos (sin presencia de *T. infestans*), se realizó un análisis espacial para verificar la existencia de agregados en la ubicación de dichos parches.

Modelado de la variable respuesta: Ocupación de los parches por *T. infestans*

Para estimar la probabilidad de ocupación por *T. infestans* en los parches y su variación en el tiempo, se seleccionaron las variables relacionadas a “**Características del parche**” que determinan que la población persista entre un balance de extinciones y colonización (Levins 1969, Hanski & Simberloff 1997, Hanski 1999B): **Calidad, Tamaño y Distancia entre los mismos** (Tabla 5.F).

Tabla 5.F. Variables definidas para el análisis de ocupación de parches en el área de estudio (período 2014-2017)

Categoría	Variables explicativas	Código	Nivel	Código
Características del parche	Calidad	<i>C</i>	Calidad1 (VN)	<i>C1</i>
			Calidad2 (VT)	<i>C2</i>
			Calidad3 (VN+PD)	<i>C3</i>
			Calidad4 (VT+PD)	<i>C4</i>
			Calidad5 (VN+VT+PD)	<i>C5</i>
	Tamaño	<i>Tam</i>	Variable numérica (m^2), sumatoria estructuras de cada parche	

	Distancia	<i>Dist</i>	Variable numérica (m), distancia al parche más cercano
--	-----------	-------------	--

C1: Calidad 1: Vivienda Nueva (VN) sin peridomicilio (PD), C2: Calidad 2: Vivienda Tradicional (VT) sin peridomicilio, C3: Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, C4: Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio, C5: Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio.

Se trabajó con un conjunto de **ecuaciones de estimación generalizada (GEE)** (Zeger & Liang 1986, Zeger et al. 1988, Ballinger 2004) para estimar las variables que influyen en la probabilidad de ocupación del parche en el área de estudio. La variable respuesta fue la “

Ocupación del parche por T. infestans”, que asume valor “1” si el parche está ocupado por *T. infestans* y “0” en caso contrario, con distribución de error Binomial (función de enlace *logit*).

Se consideraron como variables explicativas las características principales de los parches: *Calidad (C)*, *Tamaño (Tam)*, *Distancia (Dist)* (Tabla 5.F) y *sus interacciones como factores fijos*. Para controlar la variabilidad por el tratamiento químico entre las viviendas, se incluyó como variable explicativa: *Rociado en el último tratamiento químico en el área (Ro)* (durante Nov2014 y Nov2015, y asume dos estados “sí” y “no”). Se decidió incluir *Muestreo (fecha)* y *Departamento* como variables explicativas (y sus interacciones) ya que los análisis previos demostraron diferencias significativas (Capítulos III y IV).

El modelo general se expresó como:

$$\text{ocupación del parche} \sim C + Tam + Dist + \text{Muestreo} + \text{depto} + Ro.$$

La lista de modelos se encuentra en Tabla Anexa 5.A. En los análisis exploratorios las interacciones no significativas se eliminaron, una a la vez, de niveles más altos a niveles más bajos, para reducir el número de parámetros a estimar. Se seleccionó el modelo final mediante el valor de AIC.

Los análisis estadísticos se realizaron con el software R (v. 3.4.3). Para el ajuste de los modelos GEE, se usaron las funciones *geeglm* (package: geepack, family: binomial).

RESULTADOS

Ocupación de los parches

El sistema de estudio contó con 397 parches de diferente calidad (C) y tamaño (Tablas 5.A y 5.B), sin embargo, en todos los muestreos el número evaluado se modificó por razones de accesibilidad o por no encontrarse el propietario para permitir el ingreso. Dependiendo de la calidad de los parches, la cobertura de evaluación cambió en un rango de 53,5% (en parches de *C1*, Feb2015) a 93,5% (*C5*, Nov2014), con frecuencia media de 79,1% (Tabla 5.G).

Tabla 5.G. Cobertura de evaluación de los parches según su calidad (método de colecta pasiva, período 2014-2017)

Fecha	C1	C2	C3	C4	C5
Nov2014	88,4 (38)	80,4 (86)	86,0 (43)	85,0 (102)	93,5 (72)
Feb2015	53,5 (23)	64,5 (69)	56,0 (28)	71,7 (86)	64,9 (50)
Nov2015	79,1 (34)	72,9 (78)	90,0 (45)	83,3 (100)	84,4 (65)
Feb2016	79,1 (34)	68,2 (73)	92,0 (46)	80,0 (96)	92,0 (71)
Nov2016	60,5 (26)	62,6 (67)	76,0 (38)	75,0 (90)	90,9 (70)
Feb2017	60,5 (26)	66,4 (71)	76,0 (38)	75,8 (91)	81,8 (63)

Cobertura de evaluación: porcentaje (Número (N.º) de parches donde se realizó colecta pasiva /Nº total de parches por calidad)*100, entre paréntesis número de parches evaluados por calidad. C: Calidad de los parches: C1: Calidad 1: Vivienda Nueva sin peridomicilio, C2: Calidad 2: Vivienda Tradicional sin peridomicilio, C3: Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, C4: Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio, C5: Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio. N.º total de parches: C :43, C2: 107, C3: 50, C4: 20 C5:77.

Con el método de colecta pasiva, se observó que parches de las 5 calidades analizadas estuvieron ocupados por *T. infestans* al menos una vez en el período de estudio. El porcentaje máximo de ocupación de los parches, según su calidad, varió entre 20,6% y 25,5%. A excepción de los parches de C1 y C4 se observó una tendencia de disminución en la ocupación desde Nov2014 (Tabla 5.H).

Tabla 5.H. Ocupación de los parches por *T. infestans* según su calidad, estimado por método de colecta pasiva en el área de estudio (período 2014-2017)

Fecha	C1 ocupación % (IC95)	C2 ocupación % (IC95)	C3 ocupación % (IC95)	C4 ocupación % (IC95)	C5 ocupación % (IC95)
Nov2014	7,9 (2,1-22,5)	20,9 (13,2-31,3)	20,9 (10,6-36,5)	25,5 (17,6-35,3)	23,6(14,7-35,3)
Feb2015	17,4 (5,7-39,5)	11,6 (5,5-22,1)	7,1 (1,2-24,9)	16,3 (9,5-26,1)	14,0 (6,3-27,4)
Nov2015	20,6 (9,3-38,4)	3,8 (0,9-11,6)	8,9 (2,9-22,1)	24,0 (16,3-33,8)	12,3 (5,8-23,4)
Feb2016	8,8 (2,3-24,8)	9,6 (4,3-19,3)	15,2 (6,8-29,5)	11,5 (6,1-20,0)	9,9 (4,4-19,8)
Nov2016	19,2 (7,3-29,9)	4,5 (1,2-13,4)	15,8 (6,6-31,9)	18,9 (11,7-28,8)	12,9 (6,4-23,5)
Feb2017	7,7 (1,3-26,6)	8,5 (3,5-18,1)	7,9 (2,1-22,5)	13,2 (7,3-22,3)	14,3 (7,1-25,9)

Ocupación de los parches: presencia de ninfa y/o adulto de *T. infestans* en el parche, en todos los casos: porcentaje (IC95: intervalo de Confianza 95%). C: Calidad de los parches: C1: Calidad 1: Vivienda Nueva sin peridomicilio, C2: Calidad 2: Vivienda Tradicional sin peridomicilio, C3: Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, C4: Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio, C5: Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio.

Transición del estado del parche en el tiempo tI al tiempo $t + I$ entre muestreos consecutivos

Utilizando la totalidad de la muestra (n=397) se analizó la variación de la ocupación en los parches para cada par de muestreos consecutivos (tI a $t+I$). En la Figura 5.B, se detalla la frecuencia relativa del estado del parche, según la calidad del mismo, para cada transición.

El análisis de proporciones de ocupación no detectó diferencias en la probabilidad de colonización y extinción entre parches de diferente calidad (Tabla Anexa 5.B). Excepto para la colonización, en la transición de $t2$ (Feb2015) a $t3$ (Nov215) se encontró una diferencia marginalmente significativa ($p=0,046$) entre parches de *Calidad 3* (Vivienda Nueva con peridomicilio) y de *Calidad 4* (Vivienda Tradicional con peridomicilio), siendo estos últimos los que mostraron mayor porcentaje de infestación.

Aunque se esperaba una menor probabilidad de parches colonizados en *Calidad 1*, sólo se observó para la transición $t5$ a $t6$ (Figura 5.B).

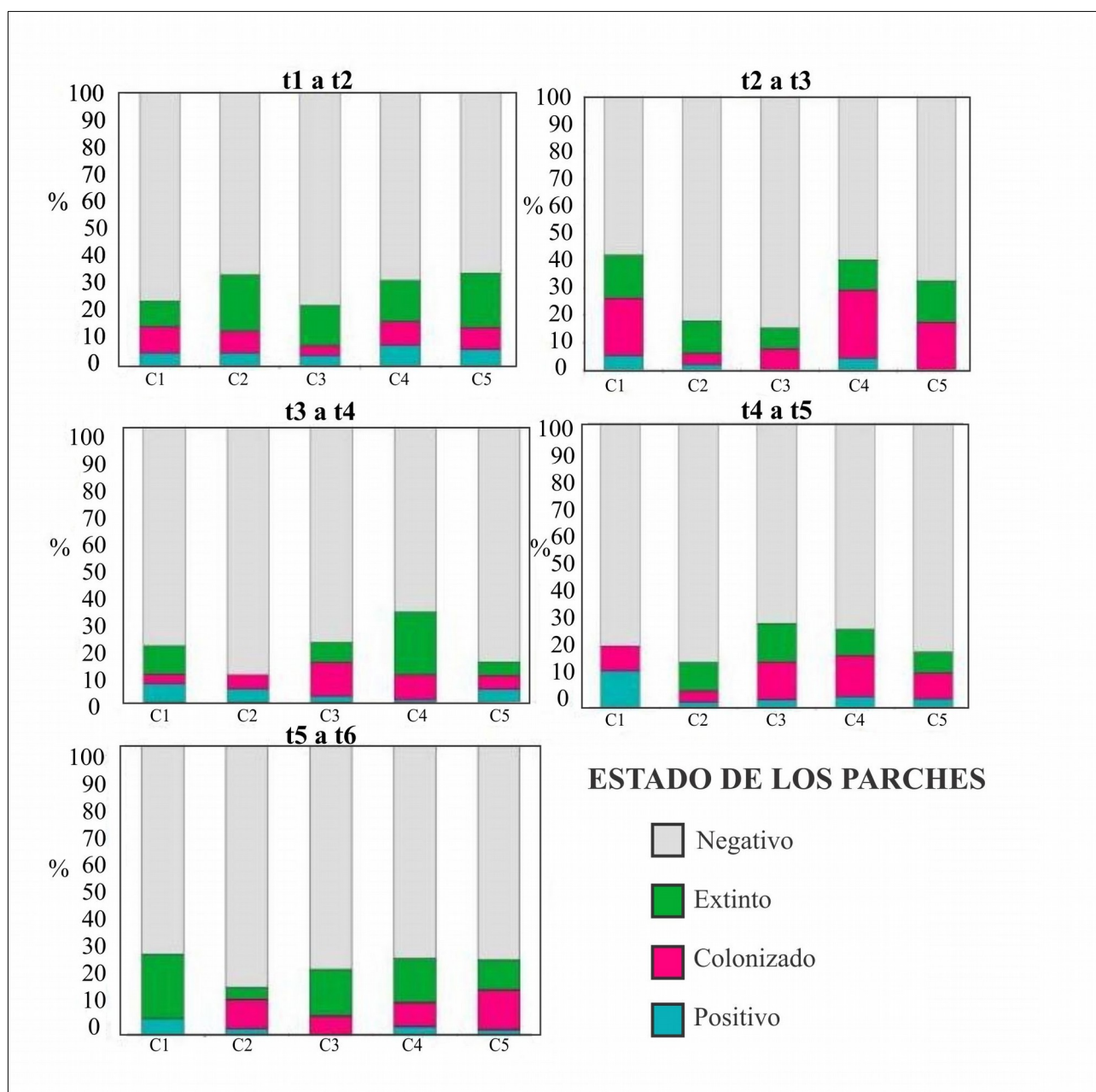


Figura 5.B. Frecuencia relativa de los estados de los parches para cada par de muestreos consecutivos ($t1$ a $t+1$), en relación a su calidad. C: Calidad de los parches: C1: Calidad 1: Vivienda Nueva (VN) sin peridomicilio, C2: Calidad 2: Vivienda Tradicional (VT) sin peridomicilio, C3: Calidad 3: VN con peridomicilio, C4: Calidad 4: VT con peridomicilio, C5: Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio. Estado de los parches: Negativo: 00, Positivo: 11, Extinto: 10, Colonizado: 01. “0”: sin *T. infestans*, “1”: con *T. infestans* (sin distinguir entre ninfas y adultos de *T. infestans*). Transición: t1 a t2: de Noviembre2014 a Febrero2015, t2 a t3: de Feb2015 a Nov2015, t3 a t4: de Nov2015 a Feb2016, t4 a t5: de Feb2016 a Nov2016, t5 a t6: de Nov2016 a Feb2017.

Dinámica de los parches en el tiempo

Sobre la submuestra de parches evaluados en los 6 muestreos ($n=123$), la Figura 5.C muestra la dinámica de los parches en todo el período de estudio en relación al porcentaje de cada transición. El mayor porcentaje de parches colonizados (16,3%, parches no ocupados que a la siguiente fecha mostraron infestación por *T. infestans*) se observa entre t_2 (Feb2015) a t_3 (Nov2015), mientras que las siguientes fechas se mantienen constantes (entre un 6 y un 10%). El mayor porcentaje de parches que sufrieron extinción (parches ocupados que a la siguiente fecha no mostraron infestación por *T. infestans*) fue entre t_1 (Nov2014) a t_2 (Feb2015) y luego se mantiene entre 8 y 12%, mostrando una tendencia cambiante según el momento analizado. En todas las transiciones se encontraron casos de parches que se mantuvieron positivos en ambos muestreos (Figura 5.C). Finalmente se indica el número de parches colonizados y extintos de *Calidad 1* y 5 (en relación al número total), para mostrar que no se encontró una tendencia significativa entre ambas características (Figuras 5.D y 5.E).

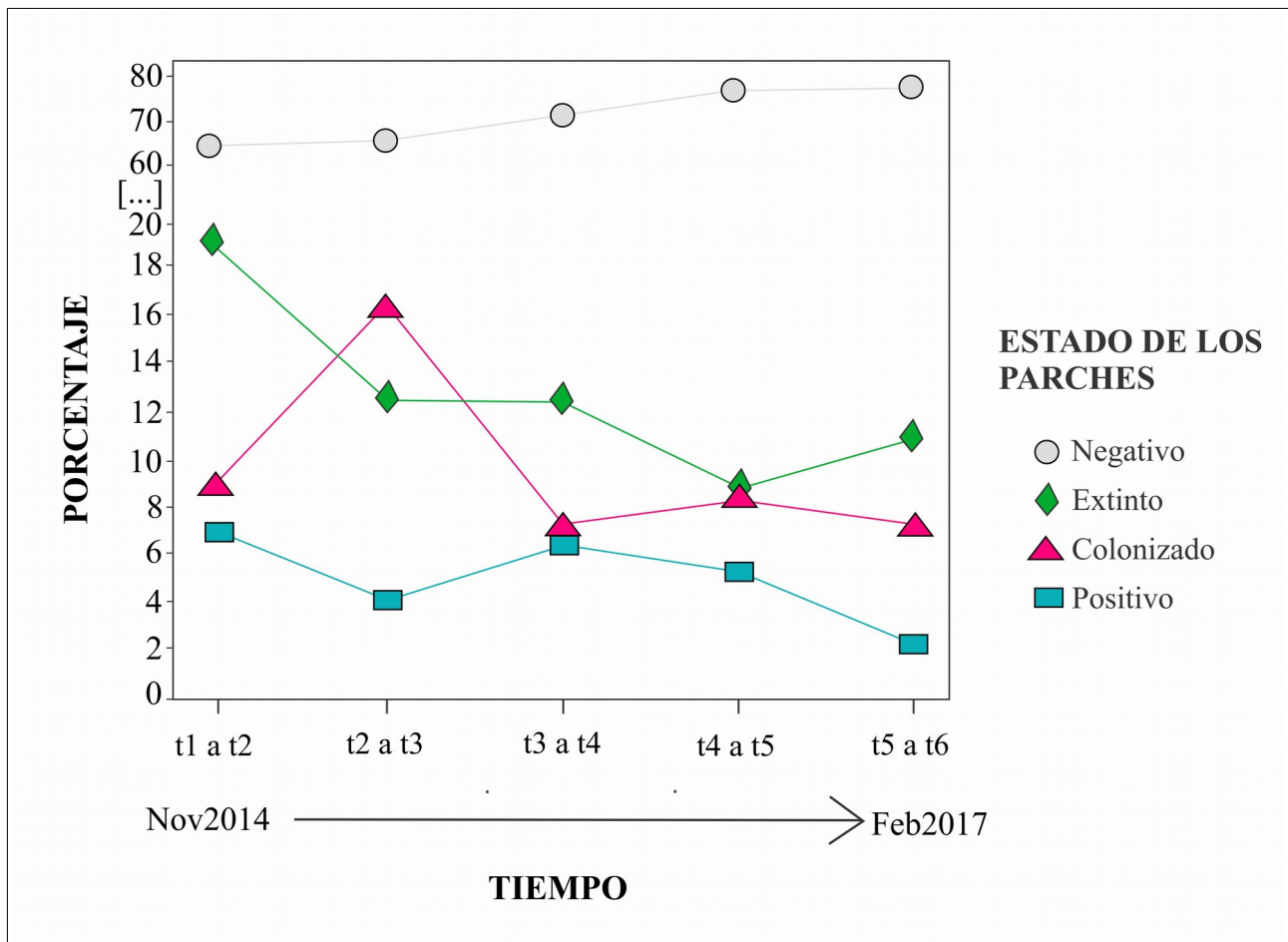


Figura 5.C. Dinámica de los parches en el tiempo $t1$ a $t + 1$. Se representa el porcentaje de parches en cada estado: Negativo: 00, Positivo: 11, Extinto: 10, Colonizado: 01. “0”: sin *T. infestans*, “1”: con *T. infestans* (sin distinguir entre ninfas y adultos de *T. infestans*). Transición: t1 a t2: de Noviembre2014 a Febrero2015, t2 a t3: de Feb2015 a Nov2015, t3 a t4: de Nov2015 a Feb2016, t4 a t5: de Feb2016 a Nov2016, t5 a t6: de Nov2016 a Feb2017

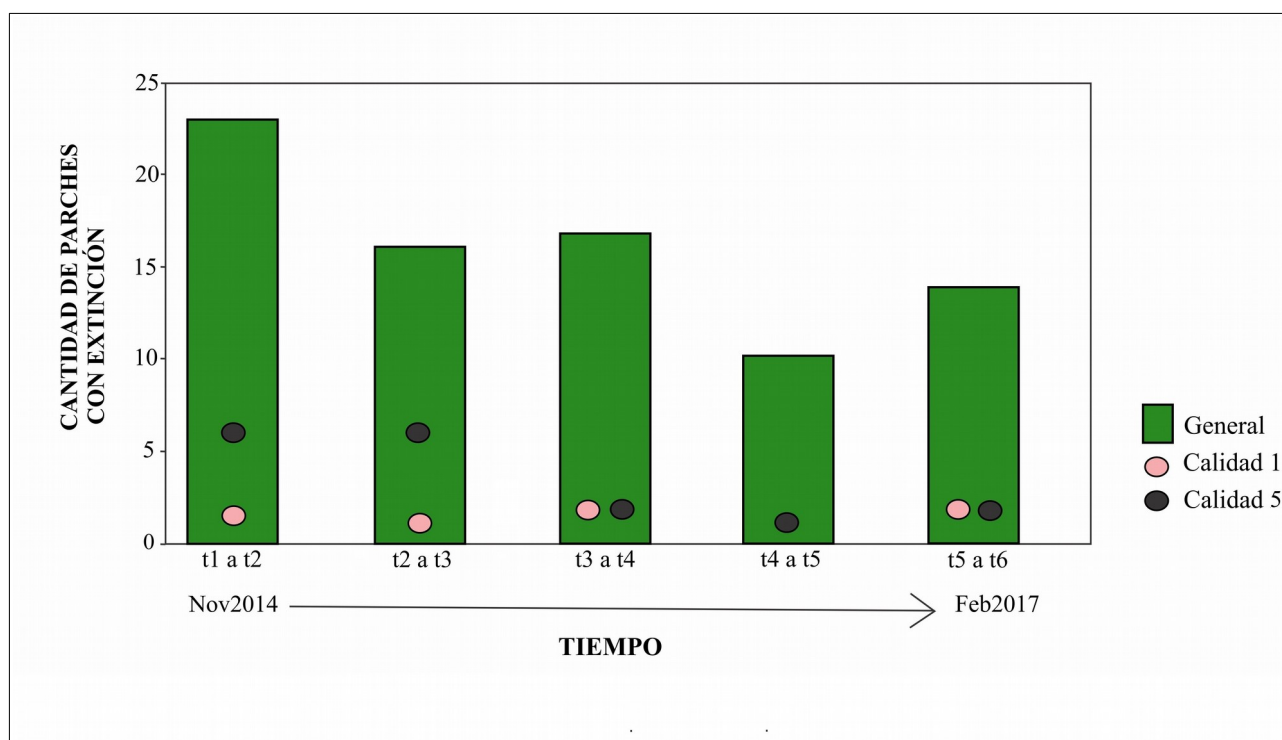


Figura 5.D. Cantidad de parches donde se registró Extinción (ocupado por *T. infestans* a no ocupado). General: Número (N.º) total de parches (sin distinguir por calidad). Círculos: N.º de parches de Calidad 1: Vivienda Nueva sin peridomicilio y Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio (extremos en la categorización de los parches). Transición: t1 a t2: de Noviembre2014 a Febrero2015, t2 a t3: de Feb2015 a Nov2015, t3 a t4: de Nov2015 a Feb2016, t4 a t5: de Feb2016 a Nov2016, t5 a t6: de Nov2016 a Feb2017.

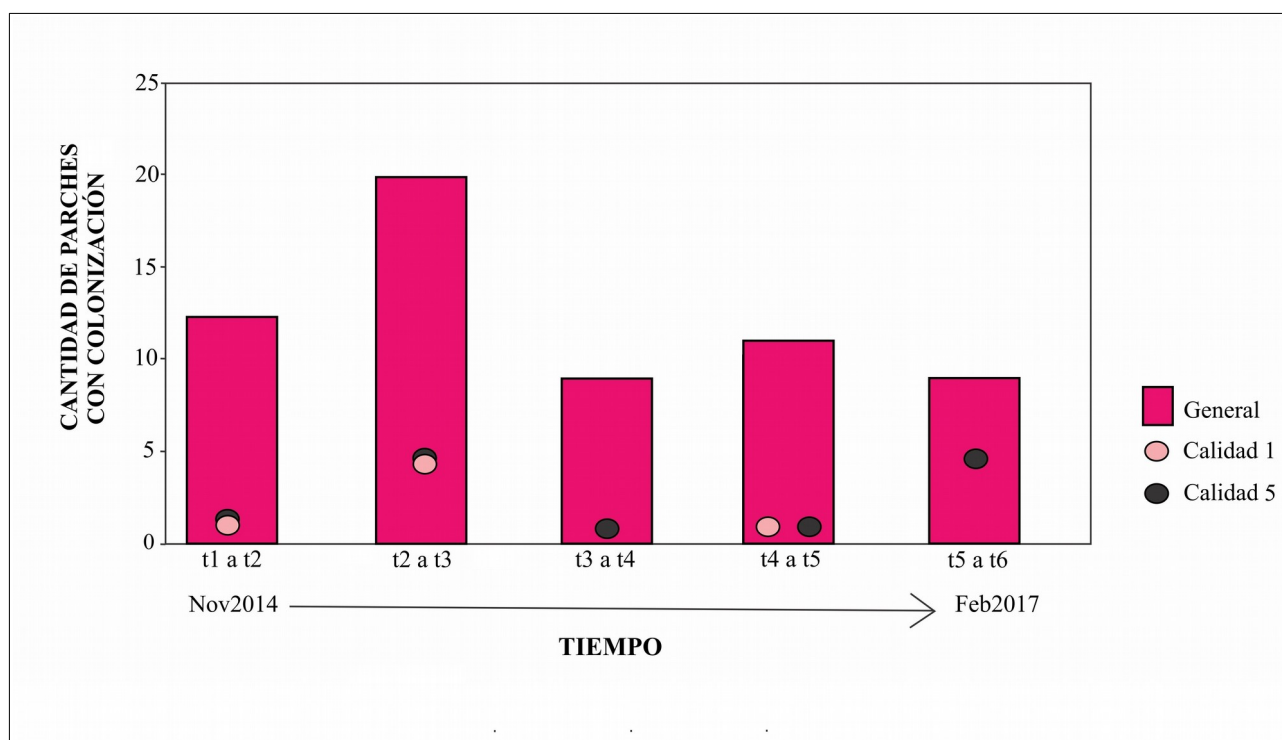


Figura 5.E. Cantidad de parches donde se registró Colonización (no ocupado por *T. infestans* a ocupado (ninfas y/o adultos)). General: Número (N.º) total de parches (sin distinguir por calidad). Círculos: N.º de parches de Calidad 1: Vivienda Nueva sin peridomicilio y Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio (extremos en la categorización de los parches). Transición: t1 a t2: de Noviembre2014 a Febrero2015, t2 a t3: de Feb2015 a Nov2015, t3 a t4: de Nov2015 a Feb2016, t4 a t5: de Feb2016 a Nov2016, t5 a t6: de Nov2016 a Feb2017.

La mayoría de los parches (más del 60%) se mantuvieron negativos en todas las transiciones (libres de *T. infestans*) (Figuras 5.B y 5.C). Al analizar de manera particular los parches negativos evaluados al menos en 5 oportunidades de muestreo (n=231), se observó que los mismos no poseen una concentración en el espacio ni muestran un patrón de distribución en el área de estudio.

Modelado de la variable respuesta: Ocupación de los parches por *T. infestans*

El análisis de resultados que se presentan a continuación, se realizó a partir de los 2 modelos que presentaron mejor desempeño en relación al valor de AIC (GEE1 AIC: 1462,567, GEE6 AIC: 1461,894, $\Delta AIC \leq 3$ con el modelo de referencia de menor valor AIC (GEE1)). La lista de modelos analizados se encuentra en Tabla Anexa 5.A. Los modelos con interacciones (*) no resultaron significativos (*Calidad*Muestreo*, *Calidad*Tamaño*, *Distancia*Tamaño*, *Rociado en el último tratamiento químico en el área*Muestreo*).

En las Tablas 5.I y 5.J se detalla el resultado de los modelos con mejor desempeño ($\Delta AIC \leq 3$). La ocupación de los parches de *T. infestans* durante el período de estudio (2014-2017) no se asoció con la variable *Calidad del parche*, por tal motivo no se encontraron diferencias entre las categorías definidas para calidad (Tablas 5.I, 5.J). Las variables *Tamaño del parche* y *Distancia* sólo están presentes en el modelo GEE1 (Tabla 5.I) y no resultaron significativas para el análisis.

En ambos modelos seleccionados, las variables *Departamento* y *Muestreo* mostraron diferencias significativas. La ocupación por *T. infestans* es mayor en parches localizados en Rosario Vera Peñaloza y San Martín ($p=1,21e-05$, $p=0,007148$ en el modelo GEE1, $p=1,3e-05$, $p=0,00502$ en el modelo GEE6, respectivamente). Se observa una tendencia de disminución en la ocupación de los parches desde Nov14. Este descenso se pone de manifiesto en el modelo a través de la significación estadística de la variable *Muestreo* ($p<0,05$, en ambos modelos). Cuando se verificó la variable *Rociado en la última intervención química*, la probabilidad de ocupación resultó significativamente mayor en los parches que habían sido rociados (GEE1: $p=0,028738$, GEE6: $p=0,02521$; Tablas 5.I y 5.J).

Tabla 5.I. Coeficientes del modelo de ecuación de estimación generalizada (GEE, *modelo GEE1*) en el análisis de ocupación de parches por *T. infestans* (período 2014-2017)

Factor	Coeficiente (Error)	Test Wald	p
(Intercepto)	-1,807 (2,693e-01)	45,035	1,94e-11 ***
Calidad C2	-2,300e-01 (2,733e-01)	0,708	0,400006
Calidad C3	-1,438e-01 (3,128e-01)	0,211	0,645678
Calidad C4	2,379e-01 (2,668e-01)	0,795	0,372542
Calidad C5	-1,318e-01 (2,838e-01)	0,216	0,642435
Tam	-2,476e-04 (1,616e-04)	2,347	0,125552
Dist	6,011e-05 (7,347e-05)	0,669	0,413256
Depto RVP	9,850e-01 (2,251e-01)	19,146	1,21e-05 ***
Depto SM	5,658e-01 (2,103e-01)	7,235	0,007148 **
Muestreo Feb2015	-5,643e-01 (2,346e-01)	5,785	0,016163 *
Muestreo Nov2015	-5,189e-01 (2,098e-01)	6,116	0,013393 *
Muestreo Feb2016	-8,310e-01 (2,268e-01)	13,430	0,000248 ***
Muestreo Nov2016	-5,843e-01 (2,181e-01)	7,181	0,007366 **
Muestreo Feb2017	-8,238e-01 (2,317e-01)	12,640	0,000378 ***
Ro si	3,103e-01 (1,419e-01)	4,783	0,028738 *

Variables explicativas (factor): C: Calidad de los parches: C2: Calidad 2: Vivienda Tradicional sin peridomicilio, C3: Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, C4: Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio, C5: Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio (Base de comparación (bc): parches de Calidad 1: Vivienda Nueva sin peridomicilio), Tam: Tamaño del parche. Dist: Distancia, Depto: Departamento: RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín (bc: Ángel Vicente Peñaloza), Muestreo: fechas de colectas pasivas (bc: Nov2014). Ro: Rociado en el último tratamiento químico en el área (bc: no). *: Nivel de significancia $p < 0,05$, códigos: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05. AIC: 1462,567.

Tabla 5.J. Coeficientes del modelo de ecuación de estimación generalizada (GEE, *modelo GEE6*) en el análisis de ocupación de parches por *T. infestans* (período 2014-2017)

Factor	Coeficiente (Error)	Test Wald	p
(Intercepto)	-1,890 (0,269)	49,48	2,0e-12 ***
Calidad C2	-0,246 (0,273)	0,81	0,36701
Calidad C3	-0,207 (0,307)	0,45	0,49999
Calidad C4	0,149 (0,262)	0,32	0,56910
Calidad C5	-0,190 (0,280)	0,46	0,49842
Depto RVP	0,944 (0,217)	18,95	1,3e-05 ***
Depto SM	0,577 (0,206)	7,87	0,00502 **
Muestreo Feb2015	-0,560 (0,234)	5,73	0,01671 *
Muestreo Nov2015	-0,516 (0,209)	6,06	0,01380 *
Muestreo Feb2016	-0,830 (0,227)	13,36	0,00026 ***
Muestreo Nov2016	-0,574 (0,218)	6,94	0,00842 **
Muestreo Feb2017	-0,820 (0,232)	12,54	0,00040 ***
Ro si	0,319 (0,143)	5,01	0,02521 *

Variables explicativas (factor): C: Calidad de los parches: C2: Calidad 2: Vivienda Tradicional sin peridomicilio, C3: Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, C4: Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio, C5: Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio (Base de comparación (bc): parches de Calidad 1: Vivienda Nueva sin peridomicilio), Depto: Departamento: RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín (bc: Ángel Vicente Peñaloza), Muestreo: fechas de colectas pasivas (bc: Nov2014). Ro Rociado en el último tratamiento químico en el área (bc: no). *: Nivel de significancia $p < 0,05$, códigos: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05. AIC: 1461,894.

Otras consideraciones: Además de los análisis presentados, se tuvo en cuenta el posible efecto de confusión asociado con: **1)** la diferente tendencia temporal de la infestación observada en cada Departamento (decreciente en Ángel Vicente Peñaloza y San Martín y creciente en Rosario Vera Peñaloza); **2)** la gran extensión del área total donde se disponían los parches muestreados (172,5 km entre los extremos más distantes); **3)** el relevamiento de los parches focalizado sólo en zonas con presencia de Nuevas Viviendas.

Por lo mencionado, se decidió evaluar submuestras de datos pertenecientes a zonas acotadas, geográficamente, dentro del área de estudio. Se utilizó la metodología detallada previamente (modelos GEE) para analizar distintos conjuntos de datos seleccionados a partir de buffer de 60 km de área (garantizando la representación de los parches de las 5 categorías de calidad en cada uno de ellos). De esta forma se construyeron 6 buffers, utilizando el programa Qgis (v. 3.0.2), cada uno de los cuales representó un sector de cada Departamento o una combinación de datos entre Departamentos vecinos (Rosario Vera Peñaloza y San Martín). Los resultados mostraron que, la mayoría de los sets de datos analizados no evidenciaban diferencias significativas en la infestación de los parches de distintas calidades. Para el buffer conformado por datos pertenecientes a San Martín y Rosario Vera Peñaloza se encontraron diferencias en la infestación por *T. infestans* entre los parches de *Calidad 1* (VN) y *Calidad 4* (VT+PD) y *5* (VT+VN+PD), siendo estos últimos los que mostraron menor porcentaje de infestación ($p=0,0347$, $p=0,0339$ respectivamente). Debido a que con estos análisis no se obtuvo información diferente a lo informado previamente, no se detalla la totalidad de los resultados obtenidos.

ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

Como se ha mencionado, la dinámica de las subpoblaciones dentro de una zona depende de eventos de extinción y colonización en los parches (Hanski 1994, 1998B, Ovaskainen & Hanski 2003, Hanski et al. 2004). En el sistema en estudio se analizaron 397 parches con características propias de calidad, tamaño y distancia entre ellos (Tablas 5.A, 5.B y 5.C). A diferencia de lo esperado, se observó que, incluso las Viviendas Nuevas sin peridomicilio (consideradas de menor calidad para *T. infestans*) presentaban colonización. La matriz del paisaje es un factor importante que determina la capacidad de los individuos de moverse a otros parches de hábitat, y por lo tanto, determina la vulnerabilidad de una especie en un paisaje fragmentado (Ricketts 2001, Baum et al. 2004). Los resultados mostraron que parches correspondientes a las 5 calidades estudiadas, estuvieron ocupados por *T. infestans* al menos una vez en el período de estudio (Tabla 5.H). De esta manera, la construcción de las Nuevas Viviendas aumentaría la disponibilidad de hábitats favorables para el vector y no propicia una caída significativa del número de poblaciones que componen la metapoblación.

Si bien la dispersión es usualmente considerada como el factor clave en la persistencia de una metapoblación, muchas veces se ignora el papel de las dinámicas locales (Baguette & Schtickzelle 2003). Los análisis de dinámica de ocupación de los parches en los muestreos consecutivos (Figura 5.C), mostraron que la probabilidad de infestación por *T. infestans* fue similar entre los parches de distintas características evaluadas, en las diferentes fechas consideradas y que todas las categorías variaban en su estado entre los muestreos (Tablas 5.I y 5.J y Figura 5.B).

Además, los resultados indicaron que el área de estudio presentó 43% (174/397) de los parches ocupados por *T. infestans* considerando los diferentes muestreos (Tabla 5.H). Esto se explica por la gran capacidad de *T. infestans* de recuperarse ante eventos cercanos a la extinción (Gorla 1991) y la gran plasticidad de esta especie para adaptarse a diferentes condiciones del entorno (Abraham et al. 2008, Hernández et al. 2011). Estas características serían las que le brindan a este triatomino la capacidad de ocupar todos los parches disponibles, sin importar su calidad, disminuyendo la probabilidad de extinción de la metapoblación (Hanski 1999A). Temporalmente, la variable *Fechas en las que se realizaron los muestreos* mostró diferencias significativas que indican una tendencia de disminución de la infestación hacia 2017 (Tablas 5.I y 5.J). Sin embargo, entre Feb2015 y Nov2015, se registra una alta colonización de parches (16,3%), con una diferencia marginalmente significativa entre parches de *Calidad 3* (Vivienda Nueva con peridomicilio) y de *Calidad 4* (Vivienda Tradicional con peridomicilio), siendo estos últimos los que mostraron mayor porcentaje

de infestación, sugiriendo una influencia positiva del peridomicilio en la ocupación de los parches vacíos, lo cual es un fenómeno registrado en otras áreas de Argentina (Cecere et al. 2004, Gurevitz et al. 2011). En las restantes fechas los porcentajes de colonización se mantienen constantes entre 6 y 10%.

Al mismo tiempo, se registraron parches de todas las calidades que se mantuvieron negativos en todos los muestreos (libres de *T. infestans*) (Figuras 5.B y 5.C), ubicados a pocos metros de los parches ocupados. Pese a la variación existente en el tamaño de los fragmentos, este resultado sugiere que existe gran posibilidad de recolonización de fragmentos actualmente vacíos, aún cuando estos sean de reducido tamaño. Según estos datos, la metapoblación en estudio podría soportar pérdidas de hábitat mientras los parches remanentes se mantengan distanciados en el rango de 400 m. ya que de esta forma se mantendría la *conectividad funcional*, es decir, la capacidad de dispersión de la especie considerando su comportamiento y la estructura espacial del paisaje (Taylor et al. 2006).

A pesar de que el área en estudio recibe tratamiento químico sistemático con piretroides, desde hace aproximadamente una década, el mayor porcentaje de parches que sufrieron extinción fue 19% entre Nov2014 y Feb2015, luego el porcentaje se mantiene entre 8 y 12% (Figuras 5.B y 5.C), lo que implicaría una falencia en el impacto del rociado. Los resultados, considerando efecto de rociado en relación al tamaño del parche, no concuerdan con varios estudios que han mostrado que el tamaño de los parches es un factor determinante en la probabilidad de extinción de una metapoblación (Hames et al. 2001, Fahrig 2003).

En conclusión, no fue posible corroborar la hipótesis de que diferentes calidades de parche se asocian a diferentes probabilidades de infestación y, por lo tanto la incorporación de parches de baja calidad en el área no tendría un impacto en disminuir la prevalencia de *T. infestans* en Los Llanos de La Rioja.

CAPÍTULO VI

INVASIÓN DE VIVIENDAS POR TRIATOMINOS SILVESTRES



INVASIÓN DE VIVIENDAS POR TRIATOMINOS SILVESTRES

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los insectos de la subfamilia Triatominae (Reduviidae) son los principales vectores de *Trypanosoma cruzi*. La transmisión vectorial se produce de dos formas con diferentes grados de solapamiento e interrelación (Diotaiuti et al. 1995). En primer lugar, el ciclo domiciliario que involucra al hombre, animales domésticos (perros y gatos), mamíferos cercanos a las viviendas (roedores principalmente) y triatominos que colonizan las mismas (vectores), en segundo lugar el ciclo silvestre que involucra a animales y triatominos no domiciliarios (Zeledon 1974). Principalmente, el solapamiento entre ambos ciclos ocurre cuando el vector, sin haber abandonado su nicho selvático original, invade el ambiente doméstico o coloniza estructuras peridomésticas.

El ciclo domiciliario presenta características diversas dependiendo del vector principal, su preferencia alimentaria por determinados hospedadores y las costumbres de la región que permiten su permanencia en la vivienda humana. Es frecuente que los hospedadores potencialmente involucrados en el ciclo, sean los animales domésticos y los criados para consumo o comercialización.

El ciclo silvestre de transmisión de *T. cruzi* presenta una amplia distribución geográfica, encontrándose asociado a diferentes especies de vectores y a una variedad de hospedadores, dependiendo del área. Por ejemplo, se reportaron especies de mamíferos silvestres infectadas naturalmente con *T. cruzi*, incluyendo a marsupiales (zarigüeyas), carnívoros (gatos monteses, zorros, mapaches, hurones, entre otros), primates, murciélagos y varias especies de roedores (Ceballos et al. 2006, Noireau et al. 2009).

Algunos ejemplos de los ciclos silvestres con diferentes vectores y reservorios involucrados son: en Venezuela *Rhodnius prolixus* relacionado a perros domésticos y zarigüeyas; en Costa Rica *T. dimidiata* vinculada a gatos, roedores y zarigüeyas; en Bolivia y Perú *T. infestans* de hábitos silvestres asociados principalmente a los cobayos (Zeledon 1974, Albarracin-Veizaga et al. 1999,

Noireau 1999); en Argentina *T. infestans* está relacionada a perros, gatos y cabras, además las aves juegan un rol muy importante a pesar de que son refractarias a la infección por *T. cruzi* (Kierszenbaum et al. 1981), ya que suelen ser fuente de alimentación de los triatominos y por lo tanto contribuyen al mantenimiento de sus poblaciones (Cecere 1997, Cecere et al. 1997, 2004).

En América existen unas 140 especies registradas de Triatominae, la mayoría asociadas a un gran número de hospedadores silvestres. En la región del Gran Chaco habitan especies del género *Triatoma*, *Panstrongylus* y *Psammolestes*, principalmente *T. infestans*, *T. guasayana*, *T. sordida*, *T. garciabesi*, *T. delpontei*, *T. platensis*, *Panstrongylus guentheri* y las menos frecuentes *T. breyeri*, *T. patagonica*, *Panstrongylus geniculatus* y *Psammolestes coreodes*, entre otros (Lent & Wygodzinsky 1979). La importancia de estas especies radica en que pueden ocupar una gran diversidad de ecotopos, y/o los hábitats intermedios entre las áreas peridomiciliarias (por ejemplo corrales) y la vegetación circundante a los mismos (Vazquez-Prokopec et al. 2008). Todos los triatominos pueden infectarse naturalmente con *T. cruzi* y por lo tanto ser potenciales vectores de la Enfermedad de Chagas (Sherlock et al. 1997). Sin embargo, sólo las especies que están cerca de las viviendas humanas (Schofield 1994) participan directamente en la transmisión de *T. cruzi* al hombre y son consideradas de importancia epidemiológica (Schofield et al. 1999, Silveira 1999, Noireau et al. 2005, 2009).

El hábitat óptimo para las especies no domiciliarias son las plantas cactáceas, matorrales, vegetación baja, huecos de árboles, nidos de pájaros y/o cuevas de mamíferos y debajo de las rocas en áreas semiáridas, con algunas particularidades por especie. Por ejemplo, *T. guasayana* coloniza ecotopos silvestres como bromeliáceas, cactus, ramas, troncos y huecos de árboles (Vezzani et al. 2001, Vazquez-Prokopec et al. 2008), mientras que *T. breyeri*, *T. rubrovaria*, *T. eratyrusiformis*, *T. platensis*, *T. delpontei*, *Panstrongylus guentheri*, *P. geniculatus* y *Psammolestes coreodes* se han registrado principalmente en ecotopos selváticos asociados con aves y mamíferos (Canale et al. 2000, Noireau & Dujardin 2001, Bar et al. 2002, Patterson et al. 2009, Marti et al. 2014). Sin embargo, al menos dos especies de Argentina, *T. guasayana* y *T. garciabesi*, son comunes tanto en áreas silvestres como peridomésticas, tales como corrales (de cabras, ovejas, cerdos), gallineros y depósitos (Canale et al. 2000, Gurevitz et al. 2011).

En Argentina, la distribución de los triatominos depende de la combinación de factores antropogénicos-socioeconómicos y factores climáticos (como temperatura y precipitaciones) (Carcavallo 1999, Gorla 2002, Medone et al. 2015). Con las variables bioclimáticas registradas en un área es posible elaborar índices de vegetación y temperatura de superficie, que se relacionan con datos de reinfestación de las viviendas rurales, con la finalidad de construir mapas de zonas de

riesgo. Los índices de vegetación son medidas robustas y empíricas de la actividad de la vegetación en la superficie terrestre, siendo el más utilizado el índice de diferencias de vegetación normalizado (NDVI). El mismo permite estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en relación a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que se emite o refleja. Las ventajas que presenta son la simplicidad de cálculo, buena sensibilidad en la vegetación y buen rango dinámico (Huete et al. 1999). Otros factores, también afectan la distribución de triatomíneos, por ejemplo, la frecuencia de rociado y campañas de erradicación del vector por parte de los programas provinciales, mejoramiento de las viviendas en las áreas endémicas y programas de educación (Gürtler 1999, Dias et al. 2002, Cantillo-Barraza et al. 2012, Sanmartino et al. 2012). Como se mencionó en otras secciones, las intervenciones vectoriales por parte del PPCHLR reanudaron sus actividades sistemáticas a partir del año 2005 en las viviendas de las comunidades rurales (Porcasi et al. 2006, 2007, Gorla et al. 2009). Con la reducción de la infestación intradoméstica por *T. infestans*, los pobladores, frecuentemente informan la invasión de las viviendas por triatomíneos voladores. Aún cuando *T. infestans* es considerado como el principal vector de la transmisión de *T. cruzi* al hombre y animales domésticos, se tienen registros de presencia de *T. guasayana*, *T. garciabesi*, *T. platensis* y *T. eratyrisiformis* en estructuras próximas a las viviendas (Lauricella et al. 2005, Gorla et al. 2009, Abraham et al. 2011, 2016, Nattero et al. 2017). Como parte del protocolo de las agencias provinciales de salud a cargo del control de vectores de la enfermedad de Chagas, se considera solamente a *T. infestans* como objetivo de las intervenciones químicas con piretroides. En consecuencia, la colecta de otros triatomíneos dentro de las viviendas o estructuras asociadas, no promueve la aplicación de insecticidas por las brigadas de control, en el área mencionada. Esto genera nuevos interrogantes en el desarrollo de esta Tesis, principalmente conocer qué especies invaden las viviendas rurales en el área de estudio y su importancia en el contexto del control vectorial.

Objetivo general

Evaluar la frecuencia de invasión de viviendas rurales por triatominos silvestres.

Objetivos específicos

1. Identificar las especies de triatominos que invaden las viviendas en el sur de Los Llanos de La Rioja.
2. Estimar la asociación entre la distribución de la especies silvestres y la cobertura vegetal del área.
3. Identificar la ubicación de las áreas de mayor infestación por especies silvestres.

Hipótesis

Mecanismo: El área de estudio se caracteriza por grupos de viviendas separados entre sí por zonas con vegetación nativa y amplia variedad de vertebrados que sirven de fuente de alimentación para los triatominos (comadrejas, roedores y gran cantidad de aves). Hipótesis: Las características de la vegetación circundante otorga disponibilidad de refugios y fuentes de alimentos para distintas especies de triatominos, que eventualmente pueden llegar hasta las viviendas. Predicción: Las viviendas más cercanas a las áreas con vegetación, reportarán mayor frecuencia de invasión de triatominos silvestres.

Parte de los datos de esta sección fueron publicados en Journal of Vector Ecology (Cavallo et al. 2016).

METODOLOGÍA

Infestación de las viviendas por especies silvestres estimada a partir de la colecta pasiva (período de evaluación 2014-2017)

Viviendas incluidas en el estudio y tipo de colecta de datos

Se seleccionaron 397 viviendas de 3 Departamentos (SM, RVP y AVP), localizados en el extremo sur de Los Llanos, La Rioja (Capítulo II, Figura 2.A). Los propietarios de cada vivienda seleccionada, colectaron triatominos que invadían sus viviendas siguiendo el protocolo descrito (Capítulo II) en 6 oportunidades entre Noviembre2014 y Febrero2017 (Tabla 2.B).

Todos los insectos recolectados en campo fueron analizados en el laboratorio para determinar **(1)** especie (según Lent & Wygodzinsky 1979), **(2)** estado de desarrollo (huevo, ninfa, adulto) y **(3)** abundancia. Una vivienda se consideró “*infestada*” cuando los propietarios encontraron uno o más especímenes de triatominos (independientemente de la especie colectada), en caso contrario se consideró “*negativa*”. De aquí en adelante se utilizará el concepto de “**especie silvestre**” al grupo de triatominos voladores que son colectados dentro (o próximo) de las viviendas rurales y no corresponden a la especie *T. infestans*.

Análisis de datos de especies silvestres

A partir de los datos de colecta de triatominos por los propietarios se obtuvo el *porcentaje de infestación* ((número de viviendas infestadas con especies silvestres/número de viviendas evaluadas)* 100) por muestreo. Se verificó la condición entomológica (positiva o negativa para especies silvestres) en la vivienda en comparación con los resultados de la colecta de *T. infestans* en esa misma vivienda. A partir de esta relación, mediante odds ratio, se comparó el porcentaje de infestación de viviendas donde se colectaron especies silvestres o *T. infestans*.

Los análisis que se detallan a continuación se realizaron dividiendo los datos de los muestreos correspondientes a las colectas pasivas en años : “año 1”: datos de los muestreos Noviembre2014 - Febrero2015, “año 2”: datos de los muestreos Nov2015 - Feb2016 y “año 3”: datos de los muestreos Nov2016 - Feb2017. Se consideró a la vivienda infestada, si se recolectaron especies silvestres en alguna de las fechas que comprende el período y la abundancia (por especie) como la

sumatoria de casos entre ambas fechas. A partir de estos datos se realizó la comparación entre los porcentajes de machos y hembras (análisis de Chi cuadrado Pearson) por especie y entre especies.

Todos los análisis se realizaron mediante el software R (v. 3.4.3), usando la funciones `chisq.test` y `calcOddsRatio` (package (MASS)).

Relación entre la infestación de las viviendas y la cobertura vegetal

Para estudiar la relación entre la invasión de la vivienda por triatomíneos silvestre y la cobertura vegetal que rodea a la misma, se utilizaron los datos correspondientes a Noviembre2014 y Febrero2015 (año 1).

En primer lugar la cobertura de vegetación circundante a las viviendas estudiadas (radio de 100, 500 y 1000 metros) se clasificó como arbusto o bosque y se estimó a partir del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) utilizando imágenes Landsat 8 (de septiembre y octubre de 2014), con una resolución espacial nominal de 30x30 m y utilizando el método de corrección atmosférico (Chavez 1988). El NDVI se calculó por medio de la ecuación estándar $(B5-B4) / (B5 + B4)$, donde B5 y B4 de Landsat 8 son bandas, 5 (infrarrojo) y 4 (rojo), respectivamente. A partir de la información digitalizada, se construyó una base de datos y se le asignó un valor de presencia igual a 1, a cada una de las coordenadas correspondientes al rango geográfico ocupado por la especie silvestre, y un valor de 0 para los casos de ausentes. A partir de la presencia de cada especie, se calculó la abundancia de *T. guasayana* y *T. garciabesi* estimada por colecta pasiva (radio alrededor de la vivienda 100, 500 y 1000 metros). La variable de análisis fue la abundancia y la presencia de especies silvestres. Se realizó la comparación entre los valores de presencia de las especies más frecuentes, en relación a la cobertura vegetal alrededor de las viviendas invadidas por estos triatomíneos y las no invadidas. Se utilizó el programa Qgis (v. 3.0.2) y software R (v. 3.4.3) para realizar los análisis correspondientes.

Análisis temporo-espacial de los datos

A partir de los datos de las especies silvestres más abundantes (*T. guasayana* y *T. garciabesi*), se estimó la agregación espacial de la infestación de las viviendas, utilizando la estadística espacial para identificar grupos de Localidades geográficamente agregadas y con infestación mayor o menor en comparación con el promedio regional. La unidad de análisis fue la Localidad y se trabajó con el programa SatScan (v. 9.4.4), utilizando modelo de Poisson para la detección de agrupamientos

usando los datos de los 3 años (Kulldorff et al. 1997, Kulldorff 2006). El procedimiento se detalló en la sección Metodología del Capítulo III.

RESULTADOS

Análisis de datos de especies silvestres

A partir de la clasificación de los insectos colectados se identificaron 8 especies que invaden las viviendas rurales en Los Llanos riojanos: 1 especie domiciliaria: *Triatoma infestans* y 7 especies silvestres: *T. garciabesi*, *T. guasayana*, *T. eratyrusiformis*, *T. platensis*, *T. breyeri*, *T. delpontei* y *Panstrongylus guentheri* (Figura 6.A). La prevalencia general de viviendas infestadas por algún triatomino fue del 31,2% (124/397), en al menos un muestreo. Los resultados sobre *T. infestans* fueron presentados en los capítulos previos.

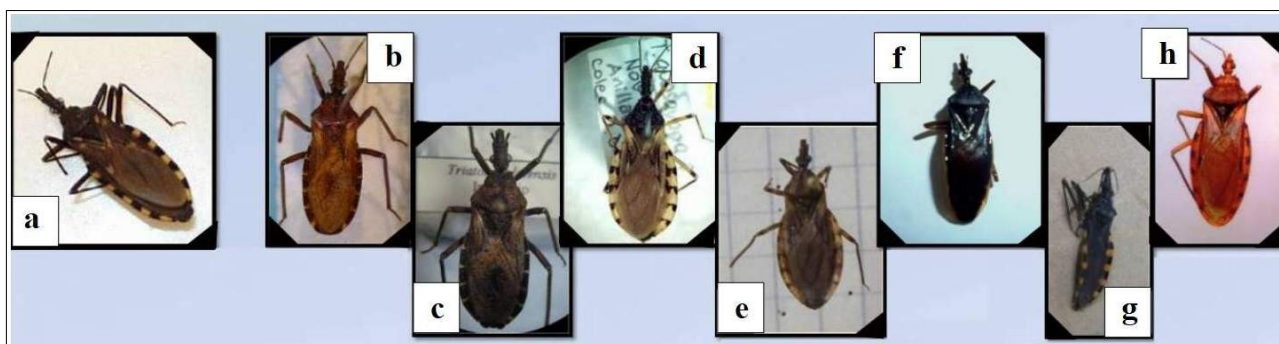


Figura 6.A. Especies colectadas en el área de estudio (período 2014-2017, colecta pasiva). a: especie domiciliaria: *T. infestans*. b-h: especies silvestres: b: *T. delpontei*, c: *T. platensis*, d: *T. guasayana*, e: *T. garciabesi*, f: *T. breyeri*, g: *T. eratyrusiformis*, h: *Panstrongylus guentheri*.

De las 397 viviendas del estudio, 178 informaron la presencia de triatomos silvestres en, al menos, un muestreo. En todos los muestreos se registraron viviendas con especies silvestres (Noviembre2014: 13,5% (46/341), Febrero2015: 2,7% (7/256), Nov2015: 12,7% (41/322), Feb2016: 4,7% (15/320), Nov2016: 25,8% (75/291), Feb2017: 3,8% (11/289)). Las especies silvestres recolectadas en todos los muestreos pasivos fueron *T. guasayana*, *T. garciabesi* y *Panstrongylus guentheri*. Mientras que *T. eratyrusiformis* se recolectó en todos los muestreos excepto en el último (Feb2017). *T. platensis* en Nov2014 y Feb2016, *T. breyeri* en Nov2014,

Nov2015 y Feb2016. Por último, *T. delpontei* en Feb2015, Feb2016 y Nov2016. La invasión por especies silvestres ocurre principalmente durante finales de la primavera, ya que la mayor abundancia de insectos se recolectaron en los muestreos realizados durante el mes de Noviembre (Tabla Anexa 6.1).

En todos los muestreos se encontraron especies silvestres en viviendas que presentaban simultáneamente infestación por *T. infestans* (principalmente en las colectas realizadas durante Noviembre). Al mismo tiempo, se encontraron viviendas infestadas únicamente con silvestres (Tabla 6.A).

Los análisis comparativos (odds ratio) entre el porcentaje de infestación correspondiente a especies silvestres o *T. infestans* resultaron significativos en Nov2015, Feb2016, Nov2016 y Feb2017. El porcentaje de las viviendas donde se colectaron especies silvestres, fue mayor en los muestreos realizados en Noviembre: (Nov2015: con especies silvestre (sp. Silv.): 22,4% y con *T. infestans*: 14,3%; odds ratio (IC95): 0,579 (0,385-0,869); Nov2016: con sp. Silv.: 25,8% y con *T. infestans*: 13,7%; 0,459 (0,300-0,702)). Mientras en los muestreos de Febrero, la situación se revierte y el porcentaje de viviendas donde se colectó *T. infestans* resultó ser significativamente mayor (Feb2016: con sp. Silv.: 5,3% y con *T. infestans*: 10,9%; 1,685 (0,958-2,961); Feb2017: con sp. Silv.: 3,8% y con *T. infestans*: 11,1%; 3,147 (1,155-6,373), Tabla 6.A).

Tabla 6.A. Relación entre las viviendas donde se colectó *T. infestans* y especies silvestres

Relación de las viviendas con distintas especies		Fechas de colecta pasiva ³					
Ti	silv	Nov2014	Feb2015	Nov2015	Feb2016	Nov2016	Feb2017
Positiva	Negativa	43	26	15	29	10	27
Negativa	Positiva	51	13	41	11	45	6
Positiva	Positiva	30	9	31	6	30	5
Negativa	Negativa	217	208	235	274	206	251

Total evaluadas	341	256	322	320	291	289
Total positivas ¹	124	48	87	46	85	38
Odds ratio (IC95) ²	0,874 (0,610- 1,252)	1,685 (0,958- 2,961)	0,579 (0,385- 0,869)*	2,189 (1,199- 3,995)*	0,459 (0,300- 0,702)*	3,147 (1,155- 6,373)*

Positiva: con presencia de especies, Negativa: sin especies. Ti: *Triatoma infestans*. Silv: Especies silvestres (incluye las especies de triatomíneos que no corresponden a la especie *T. infestans*). Odds Ratio (IC95): Intervalo de Confianza 95% (*: estimaciones cuyo IC 95% excluye el valor uno). 1: Incluye el total de viviendas donde se colectaron triatomíneos sin distinguir por especie. 2: Relación entre el porcentaje de infestación por viviendas correspondientes a especies silvestres o *T. infestans*. 3: En todos los casos: Número de viviendas que cumple la condición. Número total de viviendas: 397.

Con respecto a la abundancia general de cada especie silvestre, todos los especímenes recolectados fueron adultos, no se encontraron ninfas de especies silvestres (Tabla Anexa 6.A). Se colectaron un total de 1266 adultos (año1: 402, año2: 435 y año3: 429), las especies más abundantes fueron *T. guasayana* (Figura 6.A; d) y *T. garciabesi* (Figura 6.A; e). La primera se encontró en el 21,3% de las viviendas y se recolectaron un total de 750. La segunda se encontró en el 16,2% de las viviendas y se colectaron 385 ejemplares adultos. *T. guasayana* fue más frecuente para todos los periodos analizados (año 1: $\chi^2=14,81$; $df=1$; $p<0,0001$, año2: $\chi^2=13,98$; $df=1$; $p<0,0002$, año 3: $\chi^2=18,68$; $df=1$; $p<0,0001$).

Las hembras de *T. guasayana* invadieron las viviendas con más frecuencia que los machos (proporción de sexo F:M>1, $p<0,05$) para los 3 años analizados, mientras que un mayor número de machos de *P. guentheri* se encontraron en las viviendas evaluadas (marginamente significativo en el año 1 y con $p<0,05$ en el año 2 y 3) (Tablas 6.B, 6.C y 6.D). No se encontraron diferencias entre la abundancia de machos y hembras en las otras especies silvestres colectadas (Tablas 6.B, 6.C y 6.D).

Tabla 6.B. Datos de especies silvestres durante el año 1 de colecta (datos de Nov2014 a Feb2015, colecta pasiva)

Especie	Machos	Hembras	Relación entre machos y hembras	Número de viviendas infestadas	Número de Localidades infestadas
<i>T. guasayana</i>	80	131	$p=0,0004$	76	34
<i>T. garciabesi</i>	81	58	NS	46	26
<i>T. eratyrisiformis</i>	12	16	NS	12	5
<i>T. platensis</i>	4	4	NS	4	3
<i>T. breyeri</i>	0	1	-	1	1
<i>T. delpontei</i>	0	1	-	1	1
<i>Panstrongylus guentheri</i>	11	3	$p=0,032$	9	7

La proporción de sexos explica el significado de la hipótesis nula de una proporción de 1:1. NS: no significativo, $p>0.05$. Número de viviendas evaluadas: 356. Cantidad de Localidades muestreadas: 70.

Tabla 6.C. Datos de especie silvestre durante el año 2 de colecta (datos de Nov2015 a Feb2016, colecta pasiva)

Especie	Machos	Hembras	Relación entre machos y hembras	Número de viviendas infestadas	Número de Localidades infestadas
<i>T. guasayana</i>	109	189	p<0,0001	66	37
<i>T. garciabesi</i>	47	44	NS	45	34
<i>T. eratyrsiformis</i>	17	10	NS	12	5
<i>T. platensis</i>	2	4	NS	4	3
<i>T. breyeri</i>	1	1	NS	2	1
<i>T. delpontei</i>	0	2	-	2	2
<i>Panstrongylus guentheri</i>	8	1	p=0,0196	9	9

La razón de sexos (macho:hembra) explica el significado de la hipótesis nula de una proporción de 1:1. NS: no significativo, $p>0.05$. Número de viviendas evaluadas: 364. Cantidad de Localidades muestreadas: 69.

Tabla 6.D. Datos de especie silvestre durante el año 3 de colecta (datos de Nov2016 a Feb2017, colecta pasiva)

Especie	Machos	Hembras	Relación entre machos y hembras	Números de viviendas infestadas	Números de Localidades infestadas
<i>T. guasayana</i>	84	157	p<0,0001	60	35
<i>T. garciabesi</i>	89	66	NS	57	30
<i>T. eratyrisiformis</i>	6	3	NS	4	2
<i>T. delpontei</i>	4	5	NS	8	8
<i>Panstrongylus guentheri</i>	14	1	p=0,0008	9	8

La razón de sexos (macho:hembra) explica el significado de la hipótesis nula de una proporción de 1:1. NS: no significativo, $p>0.05$. Número de viviendas evaluadas: 352. Especies ausentes en la colecta: *T. platensis*, *T. breyeri*. Cantidad de Localidades muestreadas: 67.

Relación entre la infestación de las viviendas y la cobertura vegetal

El análisis que se presenta a continuación sólo se realizó con los datos correspondientes a Noviembre2014 y Febrero2015 (año 1). A nivel descriptivo, en el radio de 100 m., *T. garciabesi* fue más frecuente en viviendas con cobertura vegetal intermedia (valores de NDVI entre 0,25 y 0,35) y *T. guasayana* con cobertura vegetal baja ($NDVI<0,25$). Dentro del radio de 1000 m. alrededor de la vivienda, *T. garciabesi* y *T. guasayana* fueron más abundantes en relación a la cobertura de vegetación intermedia ($NDVI<0,25$; NDVI entre 0,3 y 0,4 respectivamente). No se recolectó ninguna especie en viviendas con cobertura de vegetación alta ($NDVI>0,4$) (Tabla 6.E). No se encontraron diferencias entre los valores en abundancia y presencia, en relación a la cobertura vegetal alrededor de las viviendas invadidas por triatominos y las viviendas no invadidas ($p>0,05$).

Tabla 6.E. Abundancia de *T. guasayana* y *T. garciabesi* estimado por colecta pasiva (radio alrededor de la vivienda 100, 500 y 1000 metros)

NDVI	<i>T. guasayana</i>			<i>T. garciabesi</i>		
	100	500	1000	100	500	1000
<0,25	101	13	16	31	3	3
0,25-0,30	46	76	39	30	21	6
0,30-0,35	34	64	94	35	34	47
0,35-0,40	17	42	43	13	51	42
>0,40	6	9	12	4	4	15

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada calculado a partir de las imágenes de Landsat 8. Los datos corresponden al año 1 de estudio (Noviembre2014 - Febrero2015).

Análisis temporo-espacial de los datos

La ocurrencia de la invasión de la vivienda por *T. guasayana* y *T. garciabesi* no mostró evidencia de una agregación marcada para la infestación a nivel de Localidades en el año 1 (Nov2014 - Feb2015) y año 3 (Nov2016 - Feb2017) ($p>0,05$ en todos los cluster detectados). Este resultado se puede observar en las Tablas 6.B y 6.D donde la frecuencia de infestación por Localidad no supera las 3 viviendas. Para el análisis particular de los datos del año 2 (Nov2015 - Feb2016) se identificó un área conformada por Localidades de los Departamentos RVP de alta infestación (86,7%) (mayor de la esperada, $p=0,00074$, riesgo relativo de 5,38 que abarcó 5 Localidades, centralizado en 31,80° sur, 66,37° oeste). En la Figura 6.B se detalla la localización de las viviendas donde se recolectaron *T. guasayana* y *T. garciabesi* durante el año 1 (Nov2014 - Feb2015) y el área con las Localidades con mayor infestación por estas especies en el año 2 (Nov2015 - Feb2016)

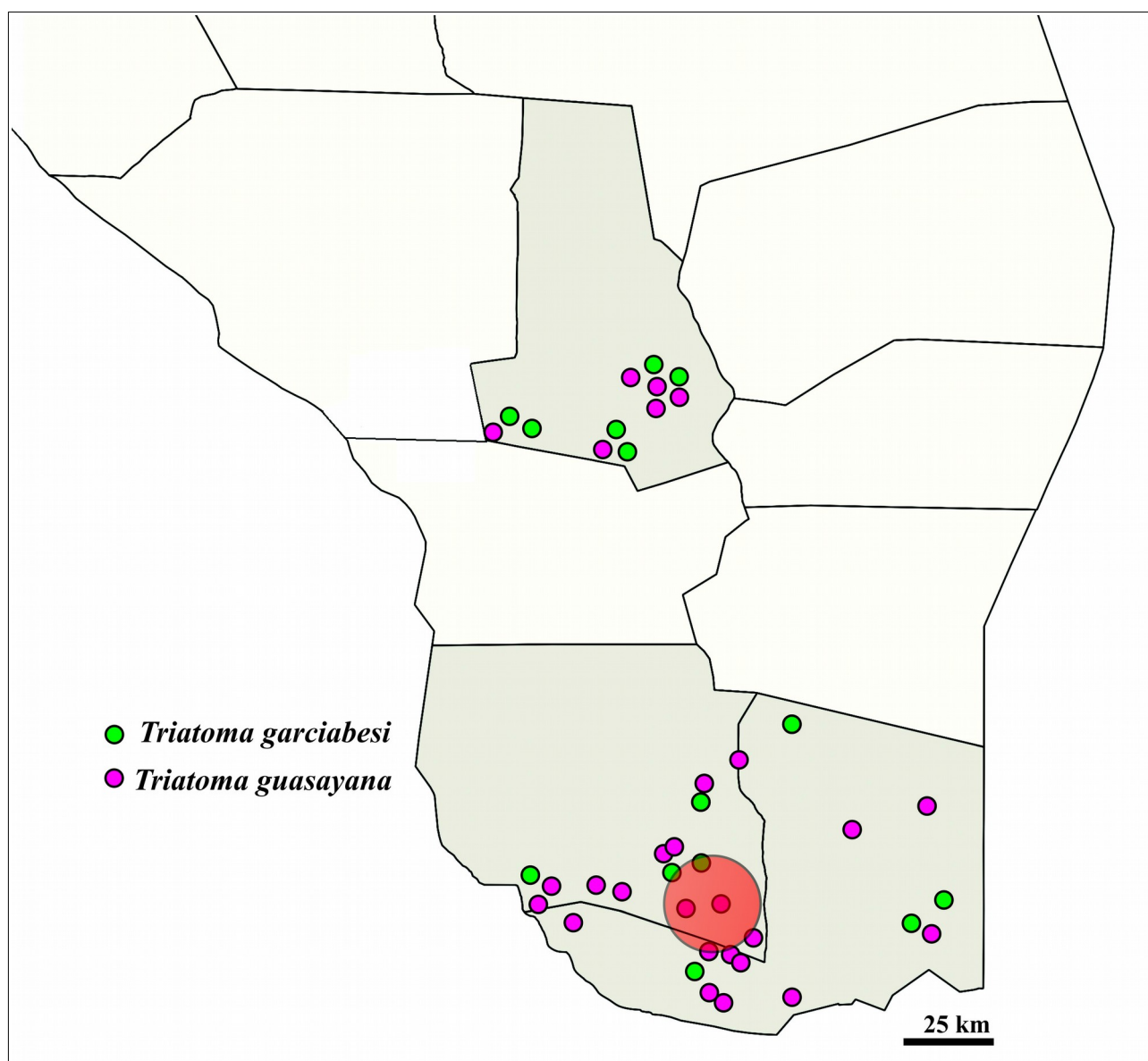


Figura 6.B. Localización de las localidades con infestación por *T. guasayana* y *T. garciabesi* en el área de estudio durante el año 1 de colecta (datos de Noviembre2014 a Febrero2015). Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza. RVP: Rosario Vera Peñaloza. SM: San Martín. Se remarca en rojo localización del cluster significativo para el año 2 (Nov2015 a Feb2016).

ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

En los principales estudios sobre triatomíneos silvestres en el Gran Chaco, se utilizó como metodología de colecta la búsqueda activa o trampas de luz, tanto para ambientes silvestres como peridomésticos (Vazquez-Prokopec et al. 2004, Abrahan et al. 2011). A diferencia de lo mencionado, en el presente estudio, se utilizó la colecta pasiva para obtener un registro detallado de las especies silvestres que invaden las viviendas en el área. Los principales resultados mostraron un total de 7 especies silvestres (*T. garciabesi*, *T. guasayana*, *T. eratyrusiformis*, *T. platensis*, *T. breyeri*, *T. delpontei* y *Panstrongylus guentheri*, Figura 6.A), presentes en viviendas que conjuntamente presentaban *T. infestans* (Tabla 6.A).

En general, todos los especímenes recolectados fueron adultos (Tabla Anexa 6.A) y la cantidad (Tabla Anexa 6.A) fue mayor en comparación con los individuos capturados en Santiago del Estero o en zonas próximas al área de estudio (Vazquez-Prokopec et al. 2004, Abrahan et al. 2011). Las especies más frecuentes fueron *T. guasayana* y *T. garciabesi* (Tabla 6.A), siendo la primera, más abundante en todos los muestreos. Esto se diferencia de otras áreas, donde se recolectaron casi cinco veces más *T. garciabesi* (Canale et al. 2000). Particularmente para *T. guasayana*, los resultados muestran diferencia entre la proporción de insectos que llegaban a las viviendas según su sexo, siendo las hembras quienes invaden con más frecuencia que los machos (Tablas 6.B, 6.C y 6.D), coincidiendo con lo reportado previamente para zonas próximas al área de estudio (Abrahan et al. 2016). Excepcionalmente, los machos invaden las viviendas en mayor proporción que las hembras para *P. guentheri*, sin embargo, no se encontraron diferencias entre la proporción de sexos en las otras especies silvestres colectadas.

Específicamente, para el análisis de los datos de 2015-2016, se identificó un área de alta infestación de *T. guasayana* y *T. garciabesi* conformada por Localidades del Departamento de Rosario Vera Peñaloza (Figura 6.B). Esta zona, coincide geográficamente con el área de mayor infestación por *T. infestans* (Figura 3.G). Las zonas de alta infestación pueden considerarse como puntos calientes donde se inicia la invasión de especies silvestres hacia los ecotopos peridomiciliarios y donde, eventualmente, puede ocurrir la introducción de *T. cruzi* selvático (Vazquez-Prokopec et al. 2005).

Los ecotopos peridomiciliarios (principalmente gallineros y corrales) y los hábitats cercanos a las viviendas, otorgan disponibilidad de refugios y fuentes de alimentos para distintas especies de triatomíneos, desde donde se movilizan a las viviendas por dispersión activa (Vazquez-Prokopec et al. 2005). Las especies encontradas con menor frecuencia en este estudio fueron *T. delpontei* y *T. platensis*, las mismas tienen una importancia epidemiológica muy baja, ya que están asociadas con

nidos de aves (refractarias a la infección por *T. cruzi*), por lo que es poco habitual que se encuentren infectadas con el parásito (Marti et al. 2014). Se ha reportado a *T. platensis* e híbridos con *T. infestans* colonizando estructuras peridomésticas. *Panstrongylus guentheri* se ha encontrado en estructuras peridomésticas asociadas con roedores y didélfidos (Marti et al. 2014) y, *T. eratyrusiformis* es una especie agresiva que habita en ambientes rocosos y en ecotopos peridomésticos, donde se asocia con edentados y roedores. Estos mamíferos pueden mostrar una prevalencia de infección de *T. cruzi* muy alta (Cecere et al. 2015). En relación a las especies más frecuentes, *T. guasayana* se ha encontrado asociada a las estructuras peridomésticas, como corrales de cabras o materiales apilados, principalmente si contienen maderas (Canale et al. 2000, Vazquez-Prokopec et al. 2005). En cambio, *T. garciabesi* se encuentra principalmente en árboles donde las gallinas duermen y en menor medida en los gallineros (ya que los materiales y las estructuras con que están contruídos difieren sustancialmente de las cortezas de los árboles, donde *T. garciabesi* se encuentra generalmente en hábitats selváticos) y eventualmente en el intradomicilio (Rodríguez-Planes et al. 2015).

El hábitat adecuado para la supervivencia de las especies silvestres mencionadas, está presente en el área circundante a las viviendas en estudio. Además, rodeando a éstas, se encuentran extensas áreas donde predomina vegetación natural, xerófila y herbácea, compuesta principalmente de gramíneas perennes y anuales y pequeños arbustos. En este estudio, no se encontró evidencia de una mayor frecuencia de invasión de especies silvestres a cobertura vegetal de gran altura. Estudios realizados en Santiago del Estero, mostraron que la vegetación natural circundante a las viviendas está frecuentemente infestada por *T. guasayana* debido a que las cabras duermen cerca de cactus secos, explicando la distribución espacial heterogénea de la especie en el área (Vazquez-Prokopec et al. 2005).

Todos los propietarios informaron que la colecta de especies silvestres ocurrió en el intradomicilio, cerca de las fuentes de luz. Sin embargo, no se observó colonización (huevos y ninfas) dentro del intradomicilio, y no existe evidencia de que el ciclo completo de las especies silvestres se produzca en el entorno doméstico en esta zona. Experimentos de campo realizados previamente, sugieren que los triatominos pueden volar hacia trampas de luz instaladas a distancias variables de las viviendas, modificando la respuesta según la orientación en la que se ubican las mismas y el tipo de luz usada (Lehane & Schofield 1981, Schofield et al. 1991, 1992, Ceballos et al. 2005, Minoli & Lazzari 2006). Las viviendas rurales que se incluyeron en este estudio cuentan con luz eléctrica desde el 2003-2008, a partir del cual los propietarios informan mayor número de especies silvestres llegando a los domicilios (comunicación personal). Estos resultados indican que las especies más frecuentes

pueden encontrarse en los ecotopos circundantes y propagarse por las noches (estimuladas por la luz) hacia las viviendas donde los propietarios las colectaron.

CAPÍTULO VII

DISCUSIÓN GENERAL



DISCUSIÓN GENERAL

El impacto de la construcción de Nuevas Viviendas en un enfoque metapoblacional

Desde las primeras investigaciones de Chagas, a comienzos del siglo XX, se sostiene la hipótesis de que la vivienda rancho, por sus características constructivas, es el principal factor que favorece la persistencia de vinchucas en el intradomicilio y, por lo tanto, debe ser modificada para evitar la transmisión vectorial de *T. cruzi*. Además, las mejoras en las viviendas son consideradas como estrategias importantes para el control de triatominos en varios países, principalmente si las mismas se realizan con participación de los propietarios. Por ejemplo, un estudio realizado en Paraguay informó una reducción del 48,6% al 16,4% en la infestación doméstica por *T. infestans*, luego de 18 meses de combinar la mejora de las viviendas y el rociado directo sobre las mismas (Rojas de Arias et al. 1999). Resultados similares se observaron en aldeas intervenidas en Guatemala, donde se redujo la infestación doméstica por *T. dimidiata* de 5,2% a 1,6% en un período de 2 años (Zamora et al. 2015). Otros autores plantearon, que las intervenciones en aldeas tradicionales y el mejoramiento de la vivienda por parte de los propietarios, se relaciona con la disminución significativa de la densidad de *T. infestans* en los domicilios (Schofield & Marsden 1982, De Andrade et al. 1995, Cecere 2003, Lardeux et al. 2015). Por lo mencionado, varios Programas de Control Vectorial han considerado el mejoramiento de ranchos y Viviendas Tradicionales o su completo reemplazo por una construcción nueva, entre las estrategias de intervención recomendadas. Específicamente, para la provincia de La Rioja el “Programa de Erradicación de Ranchos” fue presentado como la definitiva solución a la infestación doméstica. Sin embargo, esta forma de analizar la problemática en las áreas endémicas es simplificada, ya que cada rancho forma parte de un complejo sistema que influye en la persistencia de *T. infestans* dentro de un área. El estudio de la instalación de Viviendas Nuevas en Los Llanos riojanos y su impacto en la probabilidad de infestación por *T. infestans*, permitió comprender la dinámica de ocupación de la especie desde una perspectiva metapoblacional e integrar información relacionada a la infestación, ecología poblacional y control epidemiológico, para comprender cuales son las fortalezas y debilidades de las acciones de control vectorial realizadas en el área.

El primer hallazgo que surgió de los relevamientos de campo, fue la inexistencia de casos donde la construcción de la Vivienda Nueva estuviera acompañada de la erradicación de la Vivienda rancho tradicional. Esta situación generó que no disminuyera la calidad de los parches y por el contrario se incrementara la cantidad de hábitats disponibles para la especie en estudio. Sumado a esto, se priorizó la instalación de Viviendas Nuevas en el área que presentaba mayor infestación histórica por *T. infestans* (Tablas 3.A y 3.B), lo que permitió que hubiera una fuente de insectos disponible para iniciar la colonización de las nuevas estructuras.

Otro hecho que se observó es que la mayoría de las Viviendas Nuevas se ubican en un radio no mayor a 400 m. de la Tradicional, distancia que se encuentra dentro del rango estimado como la dispersión activa más frecuente para *T. infestans* (Cecere et al. 2004). Según el estudio de la distribución espacial de las viviendas en el área, la cantidad de viviendas positivas dentro de los 400 metros aumenta la probabilidad de infestación de las mismas (Tabla 4.I y Figura 4.F). Sumado a esto, las condiciones climáticas presentes en el área (temperaturas superiores a 23°C, vientos de menos de 5 km/h y humedad relativa promedio máxima por debajo de 65%) permiten la dispersión de ninfas y adultos (Gurevitz et al. 2006, Abrahan et al. 2011). Se ha demostrado que en condiciones adecuadas, las ninfas pueden contribuir a la reinfestación entre las viviendas vecinas (con una capacidad de movimiento entre 8 y 100 m.) (Vazquez-Prokopec et al. 2006). Como consecuencia de los factores mencionados, los parches de calidad baja (Vivienda Nueva) fueron instalados en cercanías a fuentes de insectos dispersantes y colonizados luego de su instalación. Este hecho se evidencia al encontrar el intradomicilio de Viviendas Nuevas ocupado por *T. infestans* en todos los muestreos (Tabla 5.H).

La colonización de las Nuevas Viviendas también puede darse por transporte pasivo que realizan los mismos propietarios. Más del 80% de la población estudiada expresó que usaba las Viviendas Nuevas como anexo, mientras que priorizaban a la Tradicional como el hogar propio y que era común el traslado de ropa y material en desuso, entre ambas. De esta manera, aumenta la propagación de los especímenes de *T. infestans* entre parches. Este mecanismo es observado también en otras áreas, por ejemplo en Brasil, donde la infestación de las Nuevas Viviendas aumentó mediante el transporte pasivo de triatominos ocultos en cajas y otras pertenencias desde las viviendas demolidas (Fleming-Moran 1992).

Cuando todos los parches poseen la misma probabilidad de ser ocupados por una especie y proveen las condiciones adecuadas para su desarrollo, aumenta la conectividad entre ellos, permitiendo el movimiento entre las subpoblaciones y facilitando los procesos de colonización (De Lima & Gascon 1999). En el presente estudio se corroboró que todos los parches tienen la misma

probabilidad de ser ocupados (Tablas 5.I y 5.J) y que las diferentes *Tipologías de viviendas* estudiadas presentan porcentaje de infestación similar (Tablas 3.E y 4.M , Figuras 3.H y 4.F y Tabla Anexa 3.D). Este resultado evidencia un aspecto interesante en este trabajo, donde se esperaba una diferencia en la infestación entre las Viviendas Nuevas y las Tradicionales, lo cual no se observó.

Al mismo tiempo, se ha reportado que numerosas grietas en las viviendas proporcionan microhábitats adecuados para que *T. infestans* se refugie, favoreciendo la infestación por triatomíneos (Gürtler et al. 1992, 1994, Cecere et al. 2002, Saunders et al. 2012). Las fallas constructivas detectadas en las Viviendas Nuevas muestran un deterioro marcado en cielo raso y paredes (roturas y grietas, entre otros, Figura Anexa 7.A) que generan la disponibilidad de refugios adecuados para que se mantenga el ciclo completo del insecto una vez que ha sido colonizado. Es probable que la mala calidad de los materiales usados en la construcción y las deficiencias en la terminación de las Nuevas Viviendas sean por sí mismo factores que favorecen la colonización por *T. infestans* (Saunders et al. 2012, Rolón et al. 2016). Esto explicaría la similitud en la infestación encontrada entre las variables *Tipología*, *Material de construcción de la vivienda* y *Grado de limpieza* consideradas en este estudio.

A su vez, algunas categorías de parches contienen distintas estructuras peridomiciliarias, ubicadas a pocos metros de la vivienda y que definen su área. Sin embargo, los resultados indicaron que todos los parches, independientemente de su tamaño, podían estar ocupados por *T. infestans* (Tablas 5.I, 5.J), incluso los formados solamente por Viviendas Nuevas sin peridomicilio asociado (Tabla 5.H). Aunque, en el presente estudio, no se encontró que a Mayor *Cantidad de Estructuras peridomésticas* aumentara la probabilidad de infestación (Tabla 4.I), existen numerosos registros donde se considera que la dispersión por vuelo de *T. infestans* desde focos residuales del peridomicilio, es una fuente de reinfestación del parche (Cecere et al. 2004, 2006).

Los resultados expuestos en este trabajo, mostraron que el control químico aplicado en el área no logra la extinción de *T. infestans* en los parches, contrariamente a lo esperado se observó ocupación del parche cuando habían sido rociados previamente (Tablas 5.I y 5.J). A diferencia de otros estudios, que remarcan que la tasa de reinfestación en las viviendas logra su punto máximo después de 3 años de aplicación del insecticida (Gürtler et al. 2007), en el presente estudio se corroboró que al menos el 17,4% de los parches se encontraban positivos a los 2 meses post Tratamiento Químico (Tablas 4.E y 4.F). Esto podría estar asociado a la escasa cobertura de evaluación de las brigadas de control provincial (Tabla 3.A y Figura 3.A), que no logran reevaluar las viviendas tratadas en un período de tiempo suficiente que garantice la eliminación de los focos residuales. Además, se conoce que la luz UV produce una rápida degradación del insecticida, que disminuye la actividad

residual a pocas semanas y que la complejidad en las estructuras peridomésticas no permite el acceso del insecticida a todos los refugios disponibles para los triatominos (Gürtler et al. 2004). Adicionalmente, en el área no se han realizado ensayos sistemáticos de resistencia, sin embargo se ha documentado *T. infestans* resistente a los piretroides en el norte de Argentina y en varias áreas de Bolivia (Picollo et al. 2005, Santo Orihuela et al. 2008). En relación a esto, los resultados de numerosos estudios han demostrado que los insecticidas residuales, por sí solos, no permiten la extinción de *T. infestans* (o de otros triatominos en otras áreas) y se produce la reinfestación a largo plazo (Nakagawa et al. 2003, Dumonteil et al. 2004, Cecere et al. 2006, Hashimoto et al. 2006, Manne et al. 2012).

A nivel de comunidad, los propietarios en el área de estudio, reportaron otras especies de triatominos que invaden los parches. Los resultados, permitieron determinar que *T. guasayana* y *T. garciabesi* son las especies más abundantes en los ecotopos circundantes y se propagan por las noches hacia el área domiciliaria. La importancia epidemiológica de estas especies radica en su capacidad de colonizar hábitats artificiales o modificados (principalmente gallineros) y comportarse como vector secundario de *T. cruzi* (Gajate et al. 1996, Bar et al. 2010, Silistino-Souza et al. 2013, Gonzalez-Britez et al. 2014, Rossi et al. 2015). Sin embargo, en el área de estudio, la extinción de *T. infestans* no se observa y la probabilidad de colonización del domicilio de estas especies es baja (o nula). Esto coincide con lo observado en otras áreas donde el control químico disminuyó la abundancia de *T. infestans* pero la prevalencia de la infestación domiciliaria por otras especies siguió siendo muy baja, sin registros de domiciliación exitosa (Cecere et al. 1999, Vazquez-Prokopec et al. 2005). A pesar de esto, los propietarios en el área de estudio consideran a *T. guasayana* como una molestia importante, solicitando frecuentemente la intervención por parte del PPCHLR cuando observan que estos insectos llegan a la vivienda. Por protocolo, el tratamiento químico sólo debe realizarse cuando se detecta *T. infestans* (Salvatella et al. 2014). Por lo tanto, debería considerarse lo sugerido por algunos autores, que proponen que los triatominos adaptados a los ecotopos peridomésticos deben considerarse domiciliarios y también deberían recibir control químico, independientemente del tipo de especie (Noireau & Dujardin 2001, Dujardin et al. 2002).

Todo lo mencionado indica que *T. infestans* se encuentra en una dinámica continua de dispersión o redispersión que hace que en el área no exista un gradiente en la ocupación de los parches y que, independientemente de su calidad, todos pueden ser colonizados. Según Kareiva (1990) si el efecto de la calidad de hábitats heterogéneos es débil, nunca se llega a un equilibrio entre los procesos de colonización o extinción en los parches. De esta forma el impacto positivo que debía generar la

instalación de la Vivienda Nueva, como medida de control vectorial, no se alcanzó y en su lugar, contribuyeron a otorgar un nuevo sitio para el desarrollo de *T. infestans*.

Alcance e implicancia de los resultados

Ventajas de la metodología propuesta en el presente estudio

Como se ha demostrado en numerosos estudios, la implementación de la vigilancia en el intradomicilio por parte de la comunidad, podría favorecer la detección temprana de la infestación (Winch et al. 1992, Segura et al. 1994, Morgan 2001, Espino et al. 2004, Feliciangeli et al. 2007, Abad-Franch et al. 2011, Waleckx et al. 2015). Abad-Franch et al. (2011) afirma que esta técnica es recomendable cuando la infestación es de baja densidad y se dispone de tiempo limitado de evaluación de la vivienda, ya que aumenta la efectividad de la recolección a bajo costo y se integra fácilmente con otros programas de salud. En el presente trabajo se muestran, por primera vez, resultados de infestación por *T. infestans* estimados periódicamente, en base a la colecta de triatominos por parte de los pobladores, a gran escala temporal y geográfica (Figura 2.C) en el área de estudio (Tabla 2.B y Figuras 2.F, 3.C y 3.D). Además, es importante destacar, que todos los propietarios de las viviendas seleccionadas aceptaron voluntariamente participar en las seis colectas de triatominos, realizadas durante el desarrollo de esta Tesis, entre 2014 y 2017. Incorporar a la comunidad en el proceso de evaluación de la infestación permitió, no sólo analizar los objetivos de investigación propuestos para este estudio, sino también fomentar en la población local una actitud activa y positiva, en relación a la prevención de la Enfermedad de Chagas. Para lograr este propósito se consideró de suma importancia la realización de talleres de educación dirigidos a todos los pobladores sobre las principales características de *T. infestans* y su control (Crocco et al. 2005, 2010, Sanmartino et al. 2012, Waleckx et al. 2015). Por lo cual, en el marco de este estudio, alumnos, docentes y demás integrantes de la comunidad, fueron capacitados en el reconocimiento de *T. infestans* (especialmente ninfas) y aspectos generales sobre la enfermedad de Chagas (Figuras 2.D y 2.E). Los pobladores participantes pudieron esclarecer sus dudas relacionadas a la transmisión y prevención de la Enfermedad de Chagas y entrenarse para recolectar triatominos en sus viviendas. Además, durante las instancias de capacitación se difundieron diferentes estrategias de control de vectores que evitan la colonización de triatominos en el intradomicilio (mejoramiento estructural de las viviendas, promoción de pautas de limpieza, ausencia de animales domésticos de los dormitorios, etc) (Dumonteil et al. 2013, Bustamante et al. 2014). Se ha propuesto que el hecho de que los pobladores conozcan la relación entre los principales vectores y la transmisión vectorial de

la enfermedad de Chagas, es el primer paso para estimular intervenciones de control por parte de las comunidades (Monroy et al. 2009).

Propuestas para el control vectorial de *T. infestans* en el área

Desde que comenzó el control sistemático, por parte de las brigadas del PPCHLR en el año 2005, la infestación por *T. infestas* disminuyó en el área, al menos en las viviendas en estudio (Tabla 3.B). Sin embargo, los resultados obtenidos muestran infestación reiterada en algunas viviendas. Debido a la importancia epidemiológica de la especie en estudio, la presencia de un insecto en una vivienda, determina que se la considere positiva (principalmente si son hembras fertilizadas que pueden por si mismas iniciar una nueva colonia). Según los resultados presentados, Los Llanos riojanos continúan siendo un área donde quedan focos de infestación con *T. infestans* sin resolver, esto puede deberse al tipo de insecticidas de acción residual utilizados, al protocolo de evaluación y rociado llevado a cabo en la provincia o al éxito de la especie para ocupar las estructuras intradomiciliarias y peridomiciliarias.

Cada sector de los Llanos cuenta con un líder comunitario que realiza rondas de evaluación regulares y el Tratamiento Químico de la vivienda informada como positiva. Para garantizar este trabajo, es fundamental brindar los insumos necesarios, la movilidad adecuada para poder llegar, incluso a las áreas más alejadas, y el compromiso para realizar la actividad.

Un resultado interesante de este trabajo fue, que la presencia de las Escuelas no mostró un efecto sobre la probabilidad de la infestación de la Localidad, esto indicaría que es necesario potenciar en estas instituciones mayor intervención en acciones de promoción de Salud relacionadas a la prevención de la Enfermedad de Chagas. Distintos autores demostraron las ventajas de incorporar talleres y herramientas relacionados con la importancia de la transmisión vectorial en las Escuelas (Catalá 2000, Crocco et al. 2005, 2010, Sanmartino et al. 2012). De esta forma, los alumnos adquieren hábitos y comportamientos para evitar la infestación por *T. infestans* y serían los principales transmisores de estos conocimientos a sus familias.

Finalmente, los gobiernos provinciales deberían realizar estudios previos a la implementación de programas de gran presupuesto similares a “Erradicación de Ranchos”, para que equipos interdisciplinarios de profesionales evalúen las ventajas y posibles desventajas antes de la intervención en terreno. Para lograr que Programas de este tipo optimicen sus resultados, no es suficiente con instalar Nuevas Viviendas, también es necesario que se cumpla con las acciones que se detallan a continuación.

1. Es fundamental garantizar que en la construcción de las viviendas, se utilicen materiales de muy **buena calidad** y estén adecuadamente construidas para evitar que se generen grietas, que funcionen como espacios disponibles para el desarrollo del insecto, fundamentalmente fisuras en los revoques de muros y rajaduras en las superficies de techos y cielorrasos.
2. La construcción tiene que realizarse **a más de 400 metros de la Vivienda Tradicional**, para evitar la conectividad entre ambas y el efecto de las viviendas positivas circundantes.
3. Se debe informar a la población los objetivos del programa de Erradicación y **fomentar la participación de la comunidad en el diseño y construcción de la vivienda**. Esta acción resultó ser clave en la provincia de Córdoba, ya que los propietarios le daban más valor a la Vivienda Nueva, aumentando las acciones de orden y limpieza y disminuyendo la infestación (Mandrini et al. 2018). Estudios recientes concluyen, que los programas de mejoramiento de vivienda deben tener en cuenta las características ambientales y culturales del área donde se va a realizar la instalación para lograr un cambio positivo (Rolón et al. 2016, Gaspé et al. 2018).
4. Es necesario **concientizar a los propietarios** sobre la problemática de la enfermedad de Chagas y modificar hábitos comunes en el área, como almacenamiento de diferentes elementos y la presencia de animales dentro de la vivienda. En este estudio, la mayoría de los propietarios informaron que, previo al inicio de la investigación, nunca habían colectado los insectos que encontraban en su vivienda para llevarlos a un Centro de Salud o alertar al líder comunitario. Por lo cual, se debe seguir incentivando la continuidad de esta acción y además, fomentar el compromiso del líder comunitario para dar respuesta rápida y efectiva frente a las demandas planteadas por los pobladores.
5. El **tamaño de la Vivienda Nueva debe ser suficiente para albergar a todo el grupo familiar** y así evitar que se utilice como un anexo de la Vivienda Tradicional.
6. Se deben **modificar las estructuras del peridomicilio** (utilizando otros tipos de materiales en su construcción, como alambre o ladrillo con revoque) para evitar la dispersión de adultos o ninfas desde este ecotopo hacia las viviendas. De esta forma, también se evita la influencia sobre viviendas que no poseen estructuras peridomésticas propias, pero sí vecinas.
7. Es necesario, un trabajo **sostenido y completo de intervenciones de control químico** y una **fase de vigilancia**, para evitar que las poblaciones de *T. infestans* se recuperen después de un intervalo post aplicación. Se debe adquirir el uso de nuevas herramientas para el

control de *T. infestans*, como las formulaciones de lenta liberación que preservan a los insecticidas de la rápida degradación

Para lograr un control exitoso de *T. infestans*, todas estas acciones deben realizarse en conjunto y sostenerse a largo plazo en toda el área.

MATERIAL SUPLEMENTARIO



MATERIAL SUPLEMENTARIO

TABLAS ANEXAS

CAPÍTULO III

Tabla Anexa 3.A. Infestación y colonización por *T. infestans* estimado por colecta pasiva por Departamento

Departamento	Fecha	Evaluación	IG%	IID%	IPD%	Colonización%
Ángel Vicente Peñaloza	Nov2014	100	17,0	7,0	2,0	2,0
	Feb2015	79	12,7	5,1	5,1	2,5
	Nov2015	94	9,6	5,3	2,1	2,1
	Feb2016	86	3,4	0	0	0
	Nov2016	76	4	1,3	1,3	0
	Feb2017	82	1,2	0	1,2	0
Rosario Vera Peñaloza	Nov2014	98	22,4	15,3	5,1	4,1
	Feb2015	68	7,4	4,4	4,4	1,5
	Nov2015	92	21,7	9,8	1,1	1,1
	Feb2016	88	14,8	3,4	6,8	3,4
	Nov2016	83	29	13,3	2,4	1,2
	Feb2017	82	22	14,6	7,3	7,3
San Martín	Nov2014	143	23,8	18,9	3,4	6,3
	Feb2015	109	18,3	9,2	2,8	2,8
	Nov2015	136	12,5	9,6	2,9	1,5
	Feb2016	144	13,2	5,6	4,9	5,6
	Nov2016	132	9,8	5,3	2,3	1,5
	Feb2017	125	10,4	8,8	1,6	3,2

Fecha: corresponde a cada colecta pasiva. Evaluación: Número de viviendas evaluadas. IG: Infestación general (IID + IPD), en todos los casos: porcentaje. IID: Infestación intradomiciliaria. IPD: Infestación Peridomiciliaria. Los casos donde los propietarios no informaban el sitio de colecta se consideró el dato como Infestación General (ver Figura 3.D).

Tabla Anexa 3.B. Intervalo de confianza de infestación y colonización en el intradomicilio por *T. infestans* estimado a partir de los datos de método de colecta pasiva en el área de estudio (período 2014-2017)

Fecha	IC95_IG%	IC95_IID%	IC95_IPD%	IC95_CID%
Nov2014	7,2-26,1	10,8-18,5	1,8-6,1	1,6-5,7
Feb2015	9,7-18,5	3,9-10,4	1,9-7,1	0,1-2,1
Nov2015	10,7-18,6	5,6-12	0,9-4,4	0,3-3,2
Feb2016	7,7-14,9	1,7-6,2	2,2-6,8	0,5-3,4
Nov2016	10,0-18,2	4-10	0,8-4,4	0,007-1,6
Feb2017	7,7-15,3	5,1-11,7	1,4-5,8	1,2-5

Fecha: corresponde a cada colecta pasiva. IC95: intervalo de Confianza 95%. IG: Infestación General (IID + IPD), en todos los casos: porcentaje IID: Infestación Intradomiciliaria. IPD: Infestación Peridomiciliaria.

Tabla Anexa 3.C. Cobertura de evaluación por método de colecta pasiva en el área de estudio (período 2014-2017)

Fecha	Número de viviendas evaluadas	Cobertura de evaluación
Nov2014	341	85,9
Feb2015	256	64,5
Nov2015	322	81,1
Feb2016	320	80,6
Nov2016	291	74,8
Feb2017	289	72,8

Cobertura de evaluación: porcentaje (Número (N.º) de viviendas en las que el propietario entregó bolsa de colecta/Nº viviendas totales)*100. Total de viviendas: 397.

Tabla Anexa 3.D. Comparación de la infestación por *T. infestans* por Tipología de Vivienda

Fecha	Tipo de vivienda	Intervalo de confianza Infestación	Test de Proporción ¹
Nov2014	VN	8,2-24,0	$\chi^2=2,7458$; df=2; p=0,2535
	VT + VN	14,7-35,3	
	VT	17,7-30,2	
Feb2015	VN	4,9-24,6	$\chi^2=0,19747$; df=2; p=0,906
	VT + VN	6,3-27,4	
	VT	9,3-20,9	
Nov2015	VN	7,5-24,0	$\chi^2=0,32943$; df=2; p=0,8481
	VT + VN	5,8-23,3	
	VT	10,4-21,5	
Feb2016	VN	6,5-21,5	$\chi^2=0,2995$; df=2; p=0,8609
	VT + VN	4,4-19,8	
	VT	6,6-16,5	
Nov2016	VN	9,3-29,0	$\chi^2=0,8203$; df=2; p=0,6636
	VT + VN	6,4-23,5	
	VT	8,1-19,2	
Feb2017	VN	2,9-18,0	$\chi^2=1,3516$; df=2; p=0,5088
	VT + VN	7,1-25,9	
	VT	6,9-17,2	

1: Test de Proporción con datos de infestación estimado por colecta pasiva. VN: Vivienda Nueva. VT + VN: Viviendas Conjunto. VT: Vivienda Tradicional.

CAPÍTULO IV

Tabla Anexa 4.A. Infestación por *T. infestans* y Tratamiento Químico de las viviendas según los registros del PPCHLR para el área de estudio (incluye área total y viviendas que no forman parte de la muestra de este estudio, período 2014-2015)

Departamento	Fecha ¹	Cobertura de Evaluación	IID%	IPD%	Tratamiento Químico
AVP	2015	54,5 (481/883)	8,11 (39)	28,27 (136)	48,44 (233)
RVP	2014	50,3 (596/1185)	9,06 (54)	30,03 (179)	37,58 (224)
SM		52,3 (463/875)	11,66 (54)	36,29 (168)	46,87 (217)

Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. 1: Fechas de Tratamiento Químico: AVP: Noviembre/Diciembre 2015, SM y RVP: Septiembre/Octubre 2014. IID: Infestación Intradomiciliaria, en todos los casos: porcentaje (número de viviendas/cuando corresponde: viviendas total). IPD: Infestación Peridomiciliaria. Número (N°) total de viviendas evaluadas: 1540.

Tabla Anexa 4.B. Lista de modelos con diferentes combinaciones entre las variables explicativas para estimar su influencia en la probabilidad de infestación a escala de Unidad Domiciliaria

Nombre	Código	Categoría asociada	Variables explicativas en el modelo
Modelonulo	mnulo	NR	~1
Modelosat	modsat	COMPLETO	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit
Modelo1	mod1	CV	TulR
Modelo2	mod2	CV+CFV	Glim+Tviv+Mcons
Modelo3	mod3	EA	CestPd
Modelo4	mod4	EA	Cviv+Cvivposit
Modelo5	mod5	CV+CFV	TulR+Glim+Tviv+Mcons
Modelo6	mod6	CV+EA	TulR+CestPd
Modelo7	mod7	CV+EA	TulR+Cviv+Cvivposit
Modelo8	mod8	CFV+EA	Glim+Tviv+Mcons+CestPd
Modelo9	mod9	CV+CFV+EA	Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit
Modelo10	mod10	EA	CestPd+Cviv+Cvivposit
Modelo11	mod11	CV+CFV+EA	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd
Modelo12	mod12	CV+CFV+EA	TulR+Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit
Modelo13	mod13	CV+EA	TulR+CestPd+Cviv+Cvivposit
Modelo14	mod14	CV+CFV+EA	Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit

Variable Respuestas: Infestación de la Unidad Domiciliaria. NR: La infestación de la Unidad Domiciliaria no depende de ninguna de las variables explicativas consideradas. COMPLETO: Incluye todas la variables consideradas. Modelos alternativos: Categorías: CV: Intervenciones de Control Vectorial en la Vivienda. CFV: Características Físicas de la Vivienda. EA: Entorno Asociado. Variables explicativas: Glim: Grado de Limpieza (= Control Doméstico), TulR: Tiempo al último Rociado de la Vivienda (= Control Químico), Tviv: Tipología de la Vivienda, Mcons: Material de Construcción de la Vivienda, CestPd: Cantidad de Estructuras Peridomiciliarias en el buffer de 400 metros, Cviv: Cantidad de Viviendas en el buffer de 400 metros, Cvivposit: Cantidad de Viviendas Positivas en el buffer de 400 metros. Departamento no está presente en los modelos con mejor desempeño, por lo que sólo se consideró como efecto aleatorio, con la finalidad de reducir la variabilidad no explicada.

Tabla Anexa 4.C (a-f). Resultados de los modelos lineales mixtos generalizados para el análisis a escala de Unidad Domiciliaria con diferentes combinaciones de variables explicativas (por colecta pasiva). Variable Respuestas: Infestación de la Unidad Domiciliaria. Definición de cada variable explicativa en la Tabla anexa 4.B. Ranking: orden de los modelos según el rendimiento (menor valor, mejor modelo). K: número de parámetros. AICc: criterio de información de Akaike corregido para el tamaño de la muestra. $\Delta AICc$: diferencia de AICc de cada modelo con el menor AICc. AICcWt: peso de cada modelo en la ponderación final. Departamento no está presente en los modelos con mejor desempeño, por lo que sólo se consideró como efecto aleatorio.

Tabla Anexa 4.C; a. Modelos correspondientes a Noviembre2014

Modelo	Variables Explicativas (Set de datos: Nov2014)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
mod7	TulR+Cviv+Cvivposit	1	5	272,519	0	0,355
mod13	TulR+CestPd+Cviv+Cvivposit	2	6	273,335	0,816	0,236
mod4	Cviv+Cvivposit	3	4	273,799	1,28	0,187
mod10	CestPd+Cviv+Cvivposit	4	5	275,351	2,832	0,086
mod12	TulR+Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	5	12	275,838	3,319	0,068
mod9	Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	6	11	277,375	4,856	0,031
modsat	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	7	13	277,845	5,326	0,025
mod14	Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	8	12	279,328	6,809	0,012
mod1	TulR	9	3	356,707	84,188	0
modnulo	~1	10	2	358,203	85,684	0
mod6	TulR+CestPd	11	4	358,461	85,942	0
mod3	CestPd	12	3	359,818	87,299	0
mod5	TulR+Glim+Tviv+Mcons	13	10	363,631	91,112	0
mod2	Glim+Tviv+Mcons	14	9	364,886	92,367	0
mod11	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd	15	11	365,118	92,599	0
mod8	Glim+Tviv+Mcons+CestPd	16	10	366,184	93,665	0

Tabla Anexa 4.C; b. Modelos correspondientes a Febrero2015

Modelo	Variables Explicativas (Set de datos: Feb2015)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
mod4	Cviv+Cvivposit	1	4	164,913	0	0,534
mod10	CestPd+Cviv+Cvivposit	2	5	166,887	1,974	0,199
mod7	TulR+Cviv+Cvivposit	3	5	166,971	2,058	0,191
mod13	TulR+CestPd+Cviv+Cvivposit	4	6	168,936	4,023	0,071
mod9	Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	5	11	175,863	10,95	0,002
mod14	Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	6	12	177,677	12,764	0,001
mod12	TulR+Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	7	12	178,054	13,141	0,001
modsat	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	8	13	179,845	14,932	0
modnulo	~1	9	2	208,033	43,12	0
mod1	TulR	10	3	209,753	44,84	0
mod3	CestPd	11	3	209,962	45,049	0
mod6	TulR+CestPd	12	4	211,724	46,811	0
mod2	Glim+Tviv+Mcons	13	9	217,383	52,47	0
mod5	TulR+Glim+Tviv+Mcons	14	10	219,223	54,311	0
mod8	Glim+Tviv+Mcons+CestPd	15	10	219,478	54,565	0
mod11	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd	16	11	221,361	56,448	0

Tabla Anexa 4.C; c. Modelos correspondientes a Noviembre2015

Modelo	Variables Explicativas (Set de datos: Nov2015)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
mod7	TulR+Cviv+Cvivposit	1	5	202,443	0	0,538
mod13	TulR+CestPd+Cviv+Cvivposit	2	6	204,217	1,775	0,221
mod4	Cviv+Cvivposit	3	4	204,717	2,274	0,172
mod10	CestPd+Cviv+Cvivposit	4	5	206,751	4,309	0,062
mod12	TulR+Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	5	12	212,94	10,497	0,003
mod9	Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	6	11	214,047	11,605	0,002
modsat	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	7	13	214,764	12,322	0,001
mod14	Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	8	12	216,096	13,653	0,001
mod1	TulR	9	3	260,383	57,941	0
mod6	TulR+CestPd	10	4	262,208	59,765	0
modnulo	~1	11	2	267,328	64,885	0
mod5	TulR+Glim+Tviv+Mcons	12	10	268,552	66,11	0
mod3	CestPd	13	3	269,194	66,751	0
mod11	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd	14	11	270,505	68,063	0
mod2	Glim+Tviv+Mcons	15	9	274,828	72,385	0
mod8	Glim+Tviv+Mcons+CestPd	16	10	276,897	74,454	0

Tabla Anexa 4.C; d. Modelos correspondientes a Febrero2016

Modelo	Variables Explicativas (Set de datos: Feb2016)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
mod4	Cviv+Cvivposit	1	4	158,147	0	0,376
mod9	Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	2	11	159,962	1,815	0,152
mod10	CestPd+Cviv+Cvivposit	3	5	160,026	1,879	0,147
mod7	TulR+Cviv+Cvivposit	4	5	160,211	2,064	0,134
mod14	Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	5	12	161,663	3,516	0,065
mod12	TulR+Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	6	12	162,071	3,925	0,053
mod13	TulR+CestPd+Cviv+Cvivposit	7	6	162,103	3,956	0,052
modsat	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	8	13	163,789	5,642	0,022
mod3	CestPd	9	3	222,744	64,598	0
modnulo	~1	10	2	223,252	65,106	0
mod6	TulR+CestPd	11	4	224,691	66,544	0
mod1	TulR	12	3	225,12	66,973	0
mod8	Glim+Tviv+Mcons+CestPd	13	10	230,427	72,28	0
mod2	Glim+Tviv+Mcons	14	9	230,888	72,741	0
mod11	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd	15	11	232,564	74,417	0
mod5	TulR+Glim+Tviv+Mcons	16	10	232,988	74,841	0

Tabla Anexa 4.C; e. Modelos correspondientes a Noviembre2016

Modelo	Variables Explicativas (Set de datos: Nov2016)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
mod4	Cviv+Cvivposit	1	4	165,647	0	0,515
mod7	TulR+Cviv+Cvivposit	2	5	167,465	1,818	0,207
mod10	CestPd+Cviv+Cvivposit	3	5	167,582	1,935	0,196
mod13	TulR+CestPd+Cviv+Cvivposit	4	6	169,4	3,753	0,079
mod9	Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	5	11	176,773	11,125	0,002
mod12	TulR+Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	6	12	178,461	12,814	0,001
mod14	Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	7	12	178,949	13,302	0,001
modsat	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	8	13	180,652	15,005	0
modnulo	~1	9	2	223,225	57,577	0
mod3	CestPd	10	3	223,478	57,83	0
mod1	TulR	11	3	223,853	58,206	0
mod6	TulR+CestPd	12	4	224,329	58,681	0
mod2	Glim+Tviv+Mcons	13	9	231,617	65,97	0
mod5	TulR+Glim+Tviv+Mcons	14	10	231,929	66,282	0
mod8	Glim+Tviv+Mcons+CestPd	15	10	232,387	66,74	0
mod11	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd	16	11	232,897	67,25	0

Tabla Anexa 4.C; f. Modelos correspondientes a Febrero2017

Modelo	Variables Explicativas (Set de datos: Feb2017)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
mod4	Cviv+Cvivposit	1	4	142,338	0	0,407
mod7	TulR+Cviv+Cvivposit	2	5	143,056	0,719	0,284
mod10	CestPd+Cviv+Cvivposit	3	5	143,997	1,66	0,177
mod13	TulR+CestPd+Cviv+Cvivposit	4	6	144,677	2,339	0,126
mod9	Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	5	11	152,394	10,057	0,003
mod12	TulR+Glim+Tviv+Mcons+Cviv+Cvivposit	6	12	154,063	11,726	0,001
mod14	Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	7	12	154,369	12,031	0,001
modsat	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd+Cviv+Cvivposit	8	13	156,002	13,665	0
modnulo	~1	9	2	194,423	52,085	0
mod1	TulR	10	3	194,95	52,612	0
mod3	CestPd	11	3	196,31	53,972	0
mod6	TulR+CestPd	12	4	196,897	54,559	0
mod2	Glim+Tviv+Mcons	13	9	205,208	62,87	0
mod5	TulR+Glim+Tviv+Mcons	14	10	205,944	63,606	0
mod8	Glim+Tviv+Mcons+CestPd	15	10	207,29	64,952	0
mod11	TulR+Glim+Tviv+Mcons+CestPd	16	11	208,047	65,709	0

Tabla anexa 4.D. Lista de modelos con diferentes combinaciones entre las variables explicativas para estimar su relación con la cantidad de viviendas con infestación por *T. infestans* a escala de Localidad

Nombre	Código	Categoría asociada	Variables explicativas en el modelo
Lmodelo	Lmod	NR	Depto+Ceval
Lmodelomsat	Lmsat	COMPLETO	Depto+Ceval+TultL+CPS+Esc+CviviL+distM+distR+CestPdL+CviviNL+Cap
Lmodelom1	Lmod1	CQ	Depto+Ceval+TultL
Lmodelom2	Lmod2	EA+CVN	Depto+Ceval+Cap+CviviNL+distR
Lmodelom3	Lmod3	EA	Depto+Ceval+CestPdL
Lmodelom4	Lmod4	EA+CVN	Depto+Ceval+CviviL+CviviNL+distM
Lmodelom5	Lmod5	CQ+EA	Depto+Ceval+TultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM
Lmodelom6	Lmod6	CQ+EA	Depto+Ceval+TultL+CestPdL
Lmodelom7	Lmod7	CQ+EA+CVN	Depto+Ceval+TultL+CviviL+CviviNL
Lmodelom8	Lmod8	EA+CVN	Depto+Ceval+distM+distR+CviviNL+CviviL+CestPdL
Lmodelom9	Lmod9	EA	Depto+Ceval+CviviL+Esc+CPS+distM+CestPdL
Lmodelom10	Lmod10	EA	Depto+Ceval+CestPdL+CviviL+distM
Lmodelom11	Lmod11	CQ+EA	Depto+Ceval+TultL+CviviL+CestPdL
Lmodelom12	Lmod12	EA	Depto+Ceval+CPS+Esc+CestPdL+distM+distR

Variable Respuesta: Cantidad de viviendas Positivas en la Localidad (= con infestación de *T. infestans*). NR: La infestación de la Localidad no depende de ninguna de las variables explicativas consideradas. COMPLETO: Incluye todas la variables consideradas. Modelos alternativos: Categorías: CQ: Intervenciones de Control Vectorial en la Vivienda. CVN: Características Físicas de la Vivienda. EA: Entorno Asociado. Variables explicativas: presentes en todos los modelos: Depto: Departamento, Ceval: Cantidad de viviendas evaluadas por Localidad. Combinación según el modelo: TultL: Tiempo al último Tratamiento de la Localidad (= Tratamiento Químico), CviviNL: Cantidad de Viviendas Nuevas, CPS: Centro Primario de Salud, Esc: Escuelas, CestPdL: Cantidad de Estructuras Peridomésticas en la Localidad, CviviL: Cantidad de Viviendas Georeferenciadas en la Localidad, distM: Distancia Media entre las Viviendas, distR: Distancia a la Ruta pavimentada más cercana, Cap: Acceso al Agua Potable.

Tabla Anexa 4.E; (a-f). Resultados de los modelos lineales generalizados para el análisis a escala de Localidad con diferentes combinaciones de variables explicativas (por colecta pasiva). Variable Respuesta: Cantidad de viviendas Positivas en la Localidad (= con infestación de *T. infestans*). Definición de cada variable explicativa en el Tabla 4.D. Ranking= orden de los modelos según el rendimiento (menor valor, mejor modelo). Modelo = código de los modelos. K: número de parámetros. AICc: criterio de información de Akaike corregido para el tamaño de la muestra. Δ AICc: diferencia de AICc de cada modelo con el menor AICc. AICcWt: peso de cada modelo en la ponderación final.

Tabla Anexa 4.E; a. Modelos correspondientes a Noviembre2014

Modelo	VariablesExplicativas (Set de datos: Nov2014)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
Lmod3	Depto+Ceval+Ceval+CestPdL	1	5	153,534	0	0,258
Lmod10	Depto+Ceval+CestPdL+CviviL+distM	2	7	154,389	0,855	0,168
Lmod4	Depto+Ceval+CviviL+CviviNL+distM	3	7	154,709	1,175	0,143
Lmod6	Depto+Ceval+TrultL+CestPdL	4	6	155,543	2,009	0,094
Lmod11	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviL+CestPdL	5	7	155,923	2,388	0,078
Lmod7	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviL+CviviNL	6	7	156,667	3,133	0,054
Lmod2	Depto+Ceval+Ceval+Cap+CviviNL+distR	7	7	156,687	3,153	0,053
Lmod8	Depto+Ceval+distM+distR+CviviNL+CviviL+CestPdL	8	9	157,746	4,212	0,031
Lmod	Depto+Ceval	9	4	159,348	5,814	0,014
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM	10	9	159,465	5,93	0,013
Lmod1	Depto+Ceval+TrultL	11	5	159,681	6,147	0,012
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM	12	10	162,703	9,169	0,003
Lmsat	Depto+Ceval+TrultL+CPS+Esc+CviviL+distM+distR+CestPdL+CviviNL+Cap	13	13	169,561	16,026	0
Lmod9	Depto+Ceval+CviviL+Esc+CPS+distM+CestPdL	14	8	7928,594	7775,06	0

Tabla Anexa 4.E; b. Modelos correspondientes a Febrero2015

Modelo	VariablesExplicativas (Set de datos: Feb2015)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
Lmod	Depto+Ceval	1	4	105,405	0	0,492
Lmod3	Depto+Ceval+Ceval+CestPdL	2	5	107,262	1,857	0,194
Lmod1	Depto+Ceval+TrultL	3	5	107,769	2,365	0,151
Lmod6	Depto+Ceval+TrultL+CestPdL	4	6	109,867	4,463	0,053
Lmod2	Depto+Ceval+Ceval+Cap+CviviNL+distR	5	7	110,514	5,11	0,038
Lmod10	Depto+Ceval+CestPdL+CviviL+distM	6	7	112,319	6,915	0,016
Lmod4	Depto+Ceval+CviviL+CviviNL+distM	7	7	112,553	7,149	0,014
Lmod11	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviL+CestPdL	8	7	112,596	7,191	0,014
Lmod7	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviL+CviviNL	9	7	112,783	7,378	0,012
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM	10	9	117,112	11,708	0,001
Lmod8	Depto+Ceval+distM+distR+CviviNL+CviviL+CestPdL	11	9	117,917	12,512	0,001
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM	12	10	118,582	13,178	0,001
Lmsat	Depto+Ceval+TrultL+CPS+Esc+CviviL+distM+distR+CestPdL+CviviNL+Cap	13	13	128,963	23,558	0
Lmod9	Depto+Ceval+CviviL+Esc+CPS+distM+CestPdL	14	8	5050,878	4945,473	0

Tabla Anexa 4.E; c. Modelos correspondientes a Noviembre2015

Modelo	VariablesExplicativas (Set de datos: Nov2015)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
Lmod1	Depto+Ceval+TrultL	1	5	136,097	0	0,253
Lmod6	Depto+Ceval+TrultL+CestPdL	2	6	136,495	0,398	0,208
Lmod7	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviL+CviviNL	3	7	137,451	1,354	0,129
Lmod3	Depto+Ceval+Ceval+CestPdL	4	5	137,779	1,682	0,109
Lmod2	Depto+Ceval+Ceval+Cap+CviviNL+distR	5	7	138,599	2,502	0,073
Lmod11	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviL+CestPdL	6	7	138,958	2,861	0,061
Lmod	Depto+Ceval	7	4	138,965	2,868	0,06
Lmod4	Depto+Ceval+CviviL+CviviNL+distM	8	7	140,666	4,569	0,026
Lmod10	Depto+Ceval+CestPdL+CviviL+distM	9	7	142,803	6,706	0,009
Lmod8	Depto+Ceval+distM+distR+CviviNL+CviviL+CestPdL	10	9	143,041	6,944	0,008
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM	11	9	145,101	9,004	0,003
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM	12	10	146,248	10,151	0,002
Lmsat	Depto+Ceval+TrultL+CPS+Esc+CviviL+distM+distR+CestPdL+CviviNL+Cap	13	13	151,855	15,758	0
Lmod9	Depto+Ceval+CviviL+Esc+CPS+distM+CestPdL	14	8	7273,899	7137,802	0

Tabla Anexa 4.E; d. Modelos correspondientes a Febrero2016

Modelo	VariablesExplicativas (Set de datos: Feb2016)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
Lmod3	Depto+Ceval+Ceval+CestPdL	1	5	117,123	0	0,324
Lmod	Depto+Ceval	2	4	118,28	1,158	0,181
Lmod6	Depto+Ceval+TrultL+CestPdL	3	6	118,513	1,39	0,162
Lmod1	Depto+Ceval+TrultL	4	5	118,858	1,735	0,136
Lmod11	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviL+CestPdL	5	7	121,127	4,004	0,044
Lmod7	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviL+CviviNL	6	7	121,311	4,188	0,04
Lmod10	Depto+Ceval+CestPdL+CviviL+distM	7	7	122,09	4,967	0,027
Lmod4	Depto+Ceval+CviviL+CviviNL+distM	8	7	123,046	5,923	0,017
Lmod2	Depto+Ceval+Ceval+Cap+CviviNL+distR	9	7	123,264	6,142	0,015
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM	10	9	124,656	7,533	0,007
Lmod8	Depto+Ceval+distM+distR+CviviNL+CviviL+CestPdL	11	9	127,428	10,305	0,002
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviL+Esc+CPS+distM	12	10	127,677	10,555	0,002
Lmsat	Depto+Ceval+TrultL+CPS+Esc+CviviL+distM+distR+CestPdL+CviviNL+Cap	13	13	135,675	18,552	0
Lmod9	Depto+Ceval+CviviL+Esc+CPS+distM+CestPdL	14	8	6400,259	6283,137	0

Tabla Anexa 4.E; e. Modelos correspondientes a Noviembre2016

Modelo	VariablesExplicativas (Set de datos: Nov2016)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
Lmod1	Depto+Ceval+TrultL	1	5	117,696	0	0,331
Lmod6	Depto+Ceval+TrultL+CestPdL	2	6	118,728	1,032	0,198
Lmod	Depto+Ceval	3	4	119,813	2,118	0,115
Lmod3	Depto+Ceval+Ceval+CestPdL	4	5	119,863	2,167	0,112
Lmod7	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviGL+CviviNL	5	7	120,625	2,929	0,077
Lmod11	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviGL+CestPdL	6	7	121,4	3,704	0,052
Lmod4	Depto+Ceval+CviviGL+CviviNL+distM	7	7	123,224	5,528	0,021
Lmod2	Depto+Ceval+Ceval+Cap+CviviNL+distR	8	7	123,42	5,724	0,019
Lmod10	Depto+Ceval+CestPdL+CviviGL+distM	9	7	125,053	7,358	0,008
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviGL+Esc+CPS+distM	10	9	125,386	7,691	0,007
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviGL+Esc+CPS+distM	11	10	125,796	8,1	0,006
Lmod8	Depto+Ceval+distM+distR+CviviNL+CviviGL+CestPdL	12	9	127,787	10,091	0,002
Lmsat	Depto+Ceval+TrultL+CPS+Esc+CviviGL+distM+distR+CestPdL+CviviNL+Cap	13	13	132,631	14,935	0
Lmod9	Depto+Ceval+CviviGL+Esc+CPS+distM+CestPdL	14	8	6020,231	5902,536	0

Tabla Anexa 4.E; f. Modelos correspondientes a Febrero2017

Modelo	VariablesExplicativas (Set de datos: Feb2017)	Ranking	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt
Lmod7	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviGL+CviviNL	1	7	110,488	0	0,348
Lmod1	Depto+Ceval+TrultL	2	5	112,005	1,516	0,163
Lmod6	Depto+Ceval+TrultL+CestPdL	3	6	112,024	1,535	0,161
Lmod11	Depto+Ceval+Ceval+TrultL+CviviGL+CestPdL	4	7	113,6	3,111	0,073
Lmod2	Depto+Ceval+Ceval+Cap+CviviNL+distR	5	7	114,351	3,862	0,05
Lmod3	Depto+Ceval+Ceval+CestPdL	6	5	114,401	3,913	0,049
Lmod4	Depto+Ceval+CviviGL+CviviNL+distM	7	7	114,587	4,098	0,045
Lmod	Depto+Ceval	8	4	115,931	5,443	0,023
Lmod10	Depto+Ceval+CestPdL+CviviGL+distM	9	7	118,799	8,311	0,005
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviGL+Esc+CPS+distM	10	10	118,932	8,443	0,005
Lmod8	Depto+Ceval+distM+distR+CviviNL+CviviGL+CestPdL	11	9	120,307	9,819	0,003
Lmod5	Depto+Ceval+TrultL+Cap+CviviGL+Esc+CPS+distM	12	9	122,465	11,977	0,001
Lmsat	Depto+Ceval+TrultL+CPS+Esc+CviviGL+distM+distR+CestPdL+CviviNL+Cap	13	13	127,074	16,586	0
Lmod9	Depto+Ceval+CviviGL+Esc+CPS+distM+CestPdL	14	8	5835,617	5725,129	0

Tabla Anexa 4.F; (a-b). Análisis de Contraste entre las variables explicativas por Año y Departamento (Modelo GEE): Variable Respuesta: Infestación de las viviendas. Año: Año1 (Noviembre2014 a Febrero2015), Año2 (Nov2015 a Feb2016), Año 3: (Nov2016 a Feb2017). Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín.

Tabla Anexa 4.F; a. Análisis por Año (Modelo GEE)

Año	Contrastes	Estimador	Error estándar	p
Año1	AVP-RVP	0,08363	0,341	0,9653
	AVP-SM	-0,3004	0,297	0,5685
	RVP-SM	-0,3867	0,273	0,3315
Año2	AVP-RVP	-0,9881	0,363	0,0179
	AVP-SM	-0,6307	0,356	0,1786
	RVP-SM	0,3574	0,287	0,4254
Año3	AVP-RVP	-2,4526	0,511	<0,0001
	AVP-SM	-1,3051	0,523	0,0337
	RVP-SM	1,1475	0,281	0,0001

Variable Respuesta: Infestación de las viviendas. Años: Año1 (Nov2014 a Feb2015), Año2 (Nov2015 a Feb2016), Año3 (Nov2016 a Feb2017). Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín.

Tabla Anexa 4.F; b. Análisis por Departamento (Modelo GEE)

Departamento	Contrastes	Estimador	Error estándar	p
AVP	Año1-Año2	0,894	0,386	0,0534
	Año1-Año3	1,901	0,549	0,0015
	Año2-Año3	1,008	0,574	0,1848
RVP	Año1-Año2	-0,181	0,289	0,8066
	Año1-Año3	-0,638	0,268	0,0455
	Año2-Año3	-0,457	0,225	0,1059
SM	Año1-Año2	0,563	0,242	0,0522
	Año1-Año3	0,897	0,254	0,0012
	Año2-Año3	0,333	0,256	0,3931

Variable Respuesta: Infestación de las viviendas. Departamentos: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. Año1 (Nov2014 a Feb2015), Año2 (Nov2015 a Feb2016), Año3 (Nov2016 a Feb2017).

CAPÍTULO V

Tabla Anexa 5.A. Lista de modelos con diferentes combinaciones entre las variables explicativas para estimar la ocupación del parche

Nombre	Código	Variables Explicativas en el modelo	AIC	$\Delta AIC \leq 3$
RoAgee1	GEE1	$C + Tam + Dist + depto + muestreo + Ro$	1462,567	0,673
RoAgee11	GEE2	$C * muestreo + depto + Tam + Dist + Ro$	1480,134	18,240
RoAgee1b	GEE3	$C * Tam + Dist + depto + Ro$	1477,050	15,156
RoAgee1c	GEE4	$C * Dist + Tam + depto + Ro$	1476,722	14,828
RoAgee1d	GEE5	$C * muestreo + Dist * Tam + depto + Ro$	1482,200	20,306
RoAgee2	GEE6	$C + depto + muestreo + Ro$	1461,894	*
RoiAgee1	GEE7	$C + Tam + Dist + depto + muestreo * Ro$	1467,677	5,783
RoiAgee11	GEE8	$C * muestreo + depto + Tam + Dist + muestreo * Ro$	1485,442	23,548
RoiAgee1b	GEE9	$C * Tam + Dist + depto + muestreo * Ro$	1473,849	11,955
RoiAgee1c	GEE10	$C * Dist + Tam + depto + muestreo * Ro$	1473,171	11,277
RoiAgee1d	GEE11	$C * muestreo + Dist * Tam + depto + muestreo * Ro$	1487,539	25,645
RoiAgee2	GEE12	$C + depto + muestreo + muestreo * Ro$	1467,052	5,158

Variable respuesta: ocupación del parche por *T. infestans*. C: Calidad: niveles: C1: Calidad 1: Vivienda Nueva (VN) sin peridomicilio (PD), C2: Calidad 2: Vivienda Tradicional (VT) sin peridomicilio, C3: Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, C4: Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio, C5: Calidad 5: Vivienda Conjunto (VN+VT) con peridomicilio. Tam: Tamaño del parche. Distancia: Distancia al parche más cercano. Muestreo (corresponde a las colectas pasivas). Niveles: Muestreo 1: Nov2014, Muestreo 2: Feb2015, Muestreo 3: Nov2015, Muestreo 4: Feb2016, Muestreo 5: Nov2016, Muestreo 6: Feb2017. Depto: Departamento, niveles: AVP: Ángel Vicente Peñaloza, RVP: Rosario Vera Peñaloza, SM: San Martín. Ro: Rociado en el último tratamiento químico en el área, niveles si, no. Se consideraron los modelos con $\Delta AIC \leq 3$ en relación al mejor modelo *

Tabla Anexa 5.B. Análisis de proporciones entre muestreos consecutivos (en el tiempo $t1$ a $t + 1$)

Transición	Extinción	Colonización			
$t1$ a $t2$	$\chi^2=2,0577$; gl=4; p=0,7252	$\chi^2=0,81122$; gl=4; p=0,9369			
$t2$ a $t3$	$\chi^2=1,1937$; gl=4; p=0,8791	$\chi^2=11,48$; gl=4; p=0,02166			
		<i>Contrastes</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	p=0,046
$t3$ a $t4$	$\chi^2=12,035$; gl=3; p=0,007263	$\chi^2=3,486$; df=4; p=0,48			
$t4$ a $t5$	$\chi^2=0,98644$; gl=3; p=0,8045	$\chi^2=4,1566$; df=4; p=0,3852			
$t5$ a $t6$	$\chi^2=5,9375$; gl=4; p=0,2039	$\chi^2=1,5854$; gl=3; p=0,6627			

Los contrastes entre calidad de parche que no se indican no resultaron significativos. Calidad 3: Vivienda Nueva con peridomicilio, Calidad 4: Vivienda Tradicional con peridomicilio.

CAPÍTULO VI

Tabla Anexa 6.A. Abundancia de especies silvestres registrada por metodología pasiva entre 2014-2017

Especie	Nov2014	Feb2015	Nov2015	Feb2016	Nov2016	Feb2017
<i>T. guasayana</i>	204	7	289	9	233	8
<i>T. garciabesi</i>	124	15	81	10	140	15
<i>T. eratyrsiformis</i>	20	8	24	3	9	a
<i>T. platensis</i>	8	a	a	6	a	a
<i>T. breyeri</i>	1	a	1	1	a	a
<i>T. delpontei</i>	a	1	a	2	9	a
<i>Panstrongylus guentheri</i>	8	6	7	2	9	6

Todos los especímenes colectados fueron adultos. a: Ausente.

FIGURAS ANEXAS

CAPÍTULO IV

Figura 4.A; (a-c). Material de construcción predominante en las estructuras del peridomicilio en el área de estudio.



Figura 4.A; a. Construcción Tradicional.



Figura 4.A; b. Construcción “Nueva”(ladrillos revocados con cemento). En la misma se observan ladrillos sin revoque, donde pueden formarse nuevas colonias de *T. infestans*.



Figura 4.A; c. Construcción “Mix”: Estructura tradicional más estructura Nueva

CAPÍTULO VII

Figuras Anexas 7.A; (a-d). Falencias constructivas en las Viviendas Nuevas.



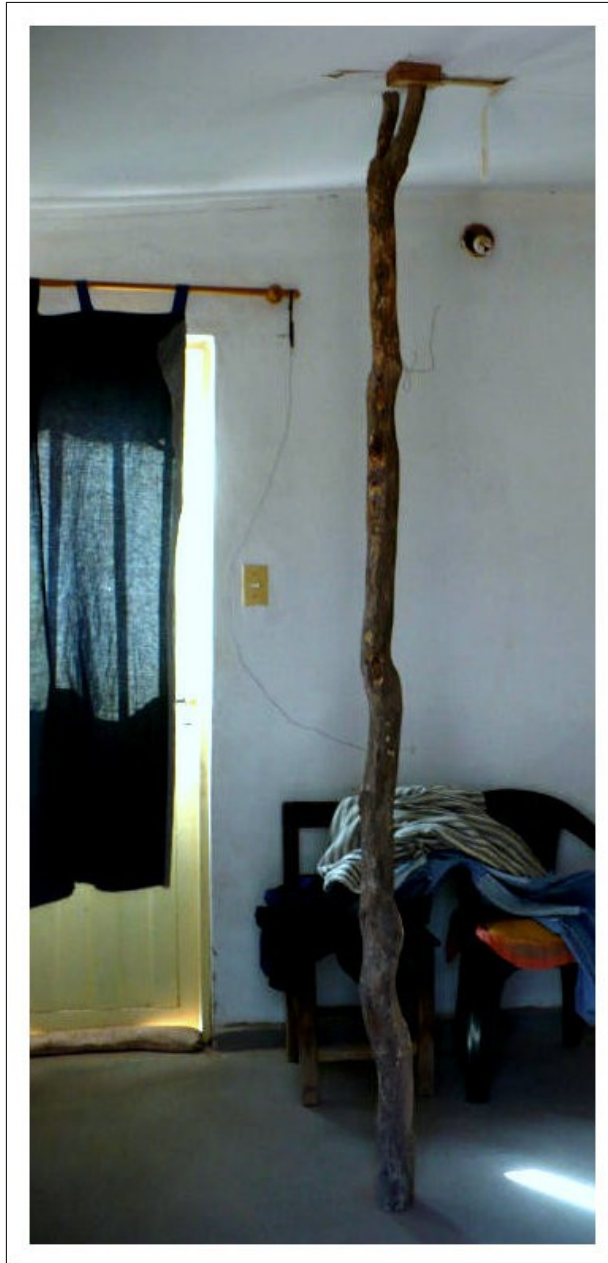
Figuras Anexas 7.A; a. Grietas en el revoque de las paredes.



Figuras Anexas 7.A; b. Caída de sectores del techo.



Figuras Anexas 7.A; c. Roturas en marcos de puertas y ventanas.



Figuras Anexas 7.A; d. Troncos sosteniendo el techo por peligro de caída, debido a las grietas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD-FRANCH, F., FERRAZ, G., CAMPOS, C., PALOMEQUE, F. S., GRIJALVA, M. J., AGUILAR, H. M. & MILES, M. A. 2010. Modeling Disease Vector Occurrence when Detection Is Imperfect: Infestation of Amazonian Palm Trees by Triatomine Bugs at Three Spatial Scales. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 4:620.
- ABAD-FRANCH, F., MONTEIRO, F. A., JARAMILLO, N., GURGEL-GONÇALVES, R., DIAS, F. B. S. & DIOTAIUTI, L. 2009. Ecology, evolution, and the long-term surveillance of vector-borne Chagas disease: a multi-scale appraisal of the tribe Rhodniini (Triatominae). *Acta Tropica*. 110:159–177.
- ABAD-FRANCH, F., VEGA, M. C., ROLÓN, M. S., SANTOS, W. S. & DE ARIAS, A. R. 2011. Community participation in Chagas disease vector surveillance: systematic review. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 5:1207.
- ABRAHAN, L., GORLA, D. & CATALÁ, S. 2016. Active dispersal of *Triatoma infestans* and other triatomines in the Argentinean arid Chaco before and after vector control interventions. *Journal of Vector Ecology*. 41:90–96.
- ABRAHAN, L., GORLA, D. E. & CATALÁ, S. S. 2011. Dispersal of *Triatoma infestans* and other Triatominae species in the arid Chaco of Argentina - Flying, walking or passive carriage? The importance of walking females. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 106:232–239.
- ABRAHAN, L., HERNÁNDEZ, L., GORLA, D. & CATALÁ, S. 2008. Phenotypic diversity of *Triatoma infestans* at the microgeographic level in the Gran Chaco of Argentina and the Andean Valleys of Bolivia. *Journal of medical entomology*. 45:660–666.
- ABRAHAN, L., LOPEZ, P., AMELOTI, I., CAVALLO, M. J., STARIOLO, R., CATALÁ, S., CUETO, G. & VALENTINUZZI, V. 2018. Activity levels of female *Triatoma infestans* change depending on physiological condition. *Parasites & Vectors*. 11:534.
- ALARICO, A. G., ROMERO, N., HERNÁNDEZ, L., CATALÁ, S. & GORLA, D. 2010. Residual effect of a micro-encapsulated formulation of organophosphates and piriproxifen on the mortality of

- deltamethrin resistant *Triatoma infestans* populations in rural houses of the Bolivian Chaco region. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 105:752–756.
- ALBARRACIN-VEIZAGA, H., CARVALHO, M. E., DO NASCIMENTO, E. M., RODRIGUES, V. L., CASANOVA, C. & BARATA, J. M. 1999. Chagas disease in an area of recent occupation in Cochabamba, Bolivia. *Revista de Saúde Pública*. 33:230–236.
- ALMEIDA, C. E., VINHAES, M. C., ALMEIDA, J. R., SILVEIRA, A. C. & COSTA, J. 2000. Monitoring the domiciliary and peridomiciliary invasion process of *Triatoma rubrovaria* in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 95:761–768.
- AMELOTTI, I.; HERNÁNDEZ M. L.; ABRAHAN, CAVALLO M. J.; CATALÁ S. & GORLA. D. 2015. IX Congreso Argentino de Entomología. 350.
- AMELOTTI, I., CATALÁ, S. S. & GORLA, D. E. 2009A. Experimental evaluation of insecticidal paints against *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae), under natural climatic conditions. *Parasites & Vectors*. 2:30.
- AMELOTTI, I., CATALÁ, S. S. & GORLA, D. E. 2009B. Response of *Triatoma infestans* to pour-on cypermethrin applied to chickens under laboratory conditions. *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz*. 104:481–485.
- DE ANDRADE, A. L., ZICKER, F., DE OLIVEIRA, R. M., DA SILVA, I. G., SILVA, S. A., DE ANDRADE, S. S. & MARTELLI, C. M. T. 1995. Evaluation of risk factors for house infestation by *Triatoma infestans* in Brazil. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 53:443–447.
- BAGUETTE, M. & SHTICKZELLE, N. 2003. Local population dynamics are important to the conservation of metapopulations in highly fragmented landscapes. *Journal of Applied Ecology*. 40:404–412.
- BALLINGER, G. A. 2004. Using generalized estimating equations for longitudinal data analysis. *Organizational Research Methods*. 7:127–150.
- BAR, M. E., DAMBORSKY, M. P., OSCHEROV, E. B., MILANO, A. M., AVALOS, G. & WISNIVESKY-COLLI, C. 2002. Triatomines involved in domestic and wild *Trypanosoma cruzi* transmission in Concepción, Corrientes, Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 97:43–46.
- BAR, M. E., OSCHEROV, E. B., DAMBORSKY, M. P., ALVAREZ, B. M., MIZDRAJI, G., AVALOS, G. & PORCEL, E. 1996. Infestación doméstica por *Triatoma infestans* y prevalencia de

- seropositivos al *Trypanosoma cruzi* en un área rural del Nordeste Argentino. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. 29:549–555.
- BAR, M. E., OSCHEROV, E. B., PIERI DAMBORSKY, M. & BORDA, M. 2010. Epidemiología de la tripanosomiasis americana en el Norte de Corrientes. *Medicina (Buenos Aires)*. 70:133–138.
- BARBU, C. M., HONG, A., MANNE, J. M., SMALL, D. S., CALDERÓN, J. E., SETHURAMAN, K., QUISPE-MACHACA, V., ANCCA-JUÁREZ, J., DEL CARPIO, J. G. C. & CHAVEZ, F. S. 2013. The effects of city streets on an urban disease vector. *PLoS Computational Biology*. 9:1002801.
- BARGUES, M. D., KLISIEWICZ, D. R., PANZERA, F., NOIREAU, F., MARCILLA, A., PEREZ, R., ROJAS, M. G., O'CONNOR, J. E., GONZALEZ-CANDELAS, F. & GALVÃO, C. 2006. Origin and phylogeography of the Chagas disease main vector *Triatoma infestans* based on nuclear rDNA sequences and genome size. *Infection, Genetics and Evolution*. 6:46–62.
- BAUM, K. A., HAYNES, K. J., DILLEMUTH, F. P. & CRONIN, J. T. 2004. The matrix enhances the effectiveness of corridors and stepping stones. *Ecology*. 85:2671–2676.
- BEGON, M., MORTIMER, M. & THOMPSON, D. J. 2009. Population ecology: a unified study of animals and plants. John Wiley & Sons.
- BICCA-MARQUES, J. C. 2003. How do howler monkeys cope with habitat fragmentation?. *Primates in Fragments*. 283–303.
- BIURRUN, F. N., AGUERO, W. & TERUEL, D. F. 2012. Consideraciones fitogeográficas sobre la vegetación de los Llanos de La Rioja. *Guía del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
- BRICEÑO-LEÓN, R. & MÉNDEZ GALVÁN, J. 2007. The social determinants of Chagas disease and the transformations of Latin America. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 102:109–112.
- BRYAN, R. T., BALDERRAMA, F., TONN, R. J. & DIAS, J. C. P. 1994. Community participation in vector control: lessons from Chagas' disease. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 50:61–71.
- BURNHAM, K. P. & ANDERSON, D. R. 2002. Model selection and multimodel inference New York. NY: Springer.
- BURNHAM, K. P. & ANDERSON, D. R. 2003. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer Science & Business Media.

- BURNHAM, K. P. & ANDERSON, D. R. 2004. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods & Research Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks*. 33:261–304.
- BUSTAMANTE, D. M., DE URIOSTE-STONE, S. M., JUÁREZ, J. G. & PENNINGTON, P. M. 2014. Ecological, social and biological risk factors for continued *Trypanosoma cruzi* transmission by *Triatoma dimidiata* in Guatemala. *PLoS One*. 9:104599.
- CANALE, D. M., CECERE, M. C., CHUIT, R. & GÜRTLER, R. E. 2000. Peridomestic distribution of *Triatoma garciabesi* and *Triatoma guasayana* in north-west Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*. 14:383–390.
- CANTILLO-BARRAZA, O., SANMARTINO, M., VASCO, J. C. & CHÁVEZ, O. T. 2012. Hacia el desarrollo de una cultura científica local para hacer frente a la problemática del Chagas. *Revista Iberoamericana de Educación*. 58:1.
- CARCAVALLO, R. U. 1999. Climatic factors related to Chagas disease transmission. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*. 94:367–369.
- CARDINAL, M. V, CASTAÑERA, M. B., LAURICELLA, M. A., CECERE, M. C., CEBALLOS, L. A., VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2006. A prospective study of the effects of sustained vector surveillance following community-wide insecticide application on *Trypanosoma cruzi* infection of dogs and cats in rural Northwestern Argentina. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 75:753–761.
- CARLIER, Y. & TRUYENS, C. 2010. Maternal–fetal transmission of *Trypanosoma cruzi*. *American Trypanosomiasis*. 539–581
- CASIDA, J. E. & QUISTAD, G. B. 1998. Golden age of insecticide research: past, present, or future? *Annual Review of Entomology*. 43:1–16.
- CASTILLO-RIQUELME, M., GUHL, F., TURRIAGO, B., PINTO, N., ROSAS, F., MARTÍNEZ, M. F., FOX-RUSHBY, J., DAVIES, C. & CAMPBELL-LENDNUM, D. 2008. The costs of preventing and treating Chagas disease in Colombia. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 2:336.
- CATALÁ, S. 2000. Brigadas escolares de vigilancia" anti-vinchucas". Una propuesta educativa para la prevención de la Enfermedad de Chagas. *Revista de Educación en Biología*. Asociación de Docentes en Ciencias Biológicas de la Argentina. 3:30–35.

- CATALÁ, S. S., NOIREAU, F. & DUJARDIN, J.-P. 2017. Biology of Triatominae. *American Trypanosomiasis Chagas Disease (Second Edition)*. 145–167
- CAVALLO, M. J., AMELOTI, I., ABRAHAN, L., CUETO, G. & GORLA, D. E. 2018. Rural houses infestation by *Triatoma infestans* in northwestern Argentina: Vector control in a high spatial heterogeneous infestation area. *PloS One*. 13:0201391.
- CAVALLO, M. J., AMELOTI, I. & GORLA, D. E. 2016. Invasion of rural houses by wild Triatominae in the arid Chaco. *Journal of Vector Ecology*. 41:97–102.
- CEBALLOS, L. A., CARDINAL, M. V., VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., LAURICELLA, M. A., OROZCO, M. M., CORTINAS, R., SCHIJMAN, A. G., LEVIN, M. J., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2006. Long-term reduction of *Trypanosoma cruzi* infection in sylvatic mammals following deforestation and sustained vector surveillance in northwestern Argentina. *Acta Tropica*. 98:286–296.
- CEBALLOS, L. A., VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CECERE, M. C., MARCET, P. L. & GÜRTLER, R. E. 2005. Feeding rates, nutritional status and flight dispersal potential of peridomestic populations of *Triatoma infestans* in rural northwestern Argentina. *Acta Tropica*. 95:149–159.
- CECERE. 1997. The role of the peridomiciliary area in the elimination of *Triatoma infestans* from rural Argentine communities. *Revista Panamericana De Salud Pública*. 1:273–279.
- CECERE, M., CANALE, D. M., & GÜRTLER, R. E. 2003. Effects of refuge availability on the population dynamics of *Triatoma infestans* in central Argentina. *Journal of Applied Ecology*. 40: 742–756.
- CECERE, M. C., CARDINAL, M. V., ARRABAL, J. P., MORENO, C. & GÜRTLER, R. E. 2015. *Microcavia australis* (Caviidae, Rodentia), a new highly competent host of *Trypanosoma cruzi* I in rural communities of northwestern Argentina. *Acta tropica*. 142:34–40.
- CECERE, M. C., CASTAÑERA, M. B., CANALE, D. M., CHUIT, R. & GÜRTLER, R. E. 1999. *Trypanosoma cruzi* infection in *Triatoma infestans* and other triatomines: long-term effects of a control program in rural northwestern Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 5:392–399.
- CECERE, M. C., GÜRTLER, R. E., CANALE, D. M., CHUIT, R. & COHEN, J. E. 2002. Effects of partial housing improvement and insecticide spraying on the reinfestation dynamics of *Triatoma infestans* in rural northwestern Argentina. *Acta Tropica*. 84:101–116.

- CECERE, M. C., GÜRTLER, R. E., CHUIT, R. & COHEN, J. E. 1997. Effects of chickens on the prevalence of infestation and population density of *Triatoma infestans* in rural houses of north-west Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*. 11:383–388.
- CECERE, M. C., GÜRTLER, R. E., CHUIT, R. & COHEN, J. E. 1998. Factors limiting the domestic density of *Triatoma infestans* in north-west Argentina: a longitudinal study. *Bulletin of the World Health Organization*. 76:373–384.
- CECERE, M. C., VASQUEZ-PROKOPEC, G. M., GÜRTLER, R. E. & KITRON, U. 2006. Reinfestation sources for Chagas disease vector, *Triatoma infestans*, Argentina. *Emerging Infectious Diseases*. 12:1096–1102.
- CECERE, M. C., VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CEBALLOS, L. A., BORAGNO, S., ZÁRATE, J. E., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2013. Improved chemical control of Chagas disease vectors in the dry Chaco region. *Journal of medical entomology*. 50:394–403.
- CECERE, M. C., VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., GÜRTLER, R. E. & KITRON, U. 2004. Spatio-temporal analysis of reinfestation by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) following insecticide spraying in a rural community in northwestern Argentina. *The American journal of tropical medicine and hygiene*. 71:803–810.
- CECERE M. C., VÁZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CEBALLOS, L. A., GUREVITZ, J. M., ZÁRATE, J. E., ZAIDENBERG, M., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2006. Comparative trial of effectiveness of pyrethroid insecticides against peridomestic populations of *Triatoma infestans* in northwestern Argentina. *Journal of medical entomology*. 43:902–909.
- CHAVEZ, P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. 24: 459-479.
- CICHERO, J. A., GIMÉNEZ, A. L. & MARTINEZ, A. 1984. Estudio de los vectores de la Enfermedad de Chagas en ambientes silvestres, peridomésticos y domésticos. *Chagas*. 1:33–37.
- COHEN, J. E. & GÜRTLER, R. E. 2001. Modeling household transmission of American trypanosomiasis. *Science*. 293:694–698.
- COSTA, J., PETERSON, A. & BEARD, C. 2002. Ecologic niche modeling and differentiation of populations of *Triatoma brasiliensis neiva*, 1911, the most important Chagas' disease vector in northeastern Brazil (hemiptera, reduviidae, triatominae). *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 67:516–520.

- COURA, J. R. & DIAS, J. C. P. 2009. Epidemiology, control and surveillance of Chagas disease: 100 years after its discovery. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 104:31–40.
- CROCCO, L., LÓPEZ, A. G., RODRÍGUEZ, C. S. & CATALÁ, S. 2010. Controlando la Enfermedad de Chagas desde la escuela: módulos educativos. *Revista de Educación en Biología*. 13–16.
- CROCCO, L., RODRÍGUEZ, C., CATALÁ, S. & NATTERO, J. 2005. Enfermedad de Chagas en Argentina: herramientas para que los escolares vigilen y determinen la presencia de factores de riesgo en sus viviendas. *Cadernos de Saúde Pública*. 21:646–651.
- CUSNALDER, M. C., GÓMEZ, R. D., AMAT, L. I., AGUILÓ, F., HENÁNDEZ, A. & LAILA, J. M. 2004. Chagas Congénito ¿es posible en España?. *Ginecología y Obstetricia Clínica* 5:198–203.
- DELGADO, S., ERNST, K. C., PUMAHUANCA, M. L. H., YOOL, S. R., COMRIE, A. C., STERLING, C. R., GILMAN, R. H., NÁQUIRA, C. & LEVY, M. Z. 2013. A country bug in the city: urban infestation by the Chagas disease vector *Triatoma infestans* in Arequipa, Peru. *International Journal of Health Geographics*. 12–48.
- DIAS, J. C. 2007. Southern Cone Initiative for the elimination of domestic populations of *Triatoma infestans* and the interruption of transfusion Chagas disease: historical aspects, present situation, and perspectives. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 102:11–18.
- DIAS, J. C. P. & JEMMIO, A. 2008. About an insecticidal paint for controlling *Triatoma infestans*, in Bolivia. *Revista da Sociedade de Brasileira de Medicina Tropical*. 41:79–81.
- DIAS, J. C. P. & SCHOFIELD, C. J. 1999. The evolution of Chagas disease (American trypanosomiasis) control after 90 years since Carlos Chagas discovery. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 94:103–121.
- DIAS, J. C. P., SILVEIRA AC & SCHOFIELD, C. J. 2002. The impact of Chagas disease control in Latin America: a review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 97:603–612.
- DIOSQUE, P., PADILLA, A. M., NEGRETTE, O. S., MARCO, J. D., ZACCA, R., MEZA, C., JUAREZ, A., ROJO, H., REY, R. & CORRALES, R. M. 2004. Chagas disease in rural areas of chaco province, argentina: epidemiologic survey in humans, reservoirs, and vectors. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 71:590–593.
- DIOTAIUTI, L., PEREIRA, A. S., LOIOLA, C. F., FERNANDES, A. J., SCHOFIELD, J. C., DUJARDIN, J. P. & CHIARI, E. 1995. Inter-relation of sylvatic and domestic transmission of

- Trypanosoma cruzi* in areas with and without domestic vectorial transmission in Minas Gerais, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 90(4): 443-448.
- DONCASTER, C. P., CLOBERT, J., DOLIGEZ, B., GUSTAFSSON, L. & DANCHIN, E. 1997. Balanced dispersal between spatially varying local populations: an alternative to the source-sink model. *The American Naturalist*. 150:425–445.
- DUJARDIN, J.-P., SCHOFIELD, J., PANZERA, F., MATIAS, A. & DE LA RIVA, J. 2002. Los vectores de la enfermedad de Chagas. *Academie Royale des Sciences*. 189.
- DUMONTEIL, E., NOUVELLET, P., ROSECRANS, K., RAMIREZ-SIERRA, M. J., GAMBOA-LEON, R., CRUZ-CHAN, V., ROSADO-VALLADO, M. & GOURBIÈRE, S. 2013. Eco-bio-social determinants for house infestation by non-domiciliated *Triatoma dimidiata* in the Yucatan Peninsula, Mexico. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 7:2466.
- DUMONTEIL, E., RAMIREZ-SIERRA, M. J., FERRAL, J., EUAN-GARCIA, M. & CHAVEZ-NUÑEZ, L. 2009. Usefulness of community participation for the fine temporal monitoring of house infestation by non-domiciliated triatomines. *Journal of Parasitology*. 95:469–471.
- DUMONTEIL, E., RUIZ-PIÑA, H., RODRIGUEZ-FÉLIX, E., BARRERA-PÉREZ, M., RAMIREZ-SIERRA, M. J., RABINOVICH, J. E. & MENU, F. 2004. Re-infestation of houses by *Triatoma dimidiata* after intra-domicile insecticide application in the Yucatan peninsula, Mexico. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 99:253–256.
- ECHEVERRIA, J. E., BUSTAMANTE GOMEZ, M. B., PESSOA, G. C., CORTEZ, M. R., RODRIGUEZ, A. N. & DIOTAIUTI, L. G. 2018. Resistance to deltamethrin by domestic and wild *Triatoma infestans* populations in the municipality of Toro Toro, Potosi, Bolivia. *Parasites & Vectors*. 11:92.
- ECHEVERRIA, J. E., RODRIGUEZ, A. N., CORTEZ, M. R., DIOTAIUTI, L. G. & GORLA, D. E. 2017. Spatial and temporal distribution of house infestation by *Triatoma infestans* in the Toro Toro municipality, Potosi, Bolivia. *Parasites & Vectors*. 10:58.
- ESPINO, F. E., KOOPS, V. & MANDERSON, L. 2004. Community participation and tropical disease control in resource-poor settings. WHO Special Programme for Research & Training. *Tropical Diseases World Health Organization*. 2.
- FAHRIG, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 34:487–515.

- FELICIANGELI, M. D., HERNÁNDEZ, M., SUAREZ, B., MARTÍNEZ, C., BRAVO, A., BRACHO, J., TOYO, J., TORRELLAS, A. & MARRERO, R. 2007. Comparación de métodos de captura intradoméstica de triatominos vectores de la enfermedad de Chagas en Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*. 47:103–117.
- FLEMING-MORAN, M. 1992. The initial success of the Chagas' Disease Control Program: factors contributing to Triatomine infestation. *Cadernos de Saúde Pública*. 8:391–403.
- FORLANI, L., JUÁREZ, M. P., LAVARÍAS, S. & PEDRINI, N. 2014. Toxicological and biochemical response of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* after exposure to deltamethrin. *Pest Management Science*. 70:751–756.
- FORLANI, L., PEDRINI, N., GIROTTI, J. R., MIJAILOVSKY, S. J., CARDOZO, R. M., GENTILE, A. G., HERNÁNDEZ-SUÁREZ, C. M., RABINOVICH, J. E. & JUÁREZ, M. P. 2015. Biological Control of the Chagas Disease Vector *Triatoma infestans* with the Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* Combined with an Aggregation Cue: Field, Laboratory and Mathematical Modeling Assessment. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 9:0003778.
- FUMADÓ, V., JUNCOSA, T., POSADA, E., FISA, R., GÁLLEGO, M. & GASCÓN, J. 2014. Chagas pediátrico en zona no endémica. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 32:293–296.
- GAJATE, P. P., BOTTAZZI, M. V, PIETROKOVSKY, S. M. & WISNIVESKY-COLLI, C. 1996. Potential colonization of the peridomicile by *Triatoma guasayana* (Hemiptera: Reduviidae) in Santiago del Estero, Argentina. *Journal of Medical Entomology*. 33:635–639.
- GARCÍA ZAPATA, M. T. A. & MARSDEN, P. D. 1993. Chaga's disease: Control and surveillance through use of insecticides and community participation in Mambai, Goiás, Brazil. *Boletín de la oficina sanitaria Panamericana*. 116:97–110.
- GASCON, J., BERN, C. & PINAZO, M.-J. 2010. Chagas disease in Spain, the United States and other non-endemic countries. *Acta Tropica*. 115:22–27.
- GASPE, M. S., PROVECHO, Y. M., CARDINAL, M. V., DEL PILAR FERNANDEZ, M. & GÜRTLER, R. E. 2015. Ecological and sociodemographic determinants of house infestation by *Triatoma infestans* in indigenous communities of the Argentine Chaco. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 9:0003614.
- GASPE, M. S., PROVECHO, Y. M., FERNÁNDEZ, M. P., VASSENA, C. V, SANTO ORIHUELA, P. L. & GÜRTLER, R. E. 2018. Beating the odds: Sustained Chagas disease vector control in

remote indigenous communities of the Argentine Chaco over a seven-year period. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 12:0006804.

GERMANO, M. D., ACEVEDO, G. R., CUETO, G. A. M., TOLOZA, A. C., VASSENA, C. V. & PICOLLO, M. I. 2010. New Findings of Insecticide Resistance in *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae) From the Gran Chaco. *Journal of Medical Entomology*. 47:1077–1081.

GIACOMINI, H. C. 2007. Sete motivações teóricas para o uso da modelagem baseada no indivíduo em ecologia. *Acta Amazonica*. 431–446.

GONZALEZ-BRITEZ, N. E., CARRASCO, H. J., MARTÍNEZ PURROY, C. E., FELICIANGELI, M. D., MALDONADO, M., LÓPEZ, E., SEGOVIA, M. J. & ROJAS DE ARIAS, A. 2014. Genetic and morphometric variability of *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) from the eastern and western regions of Paraguay. *Frontiers in Public Health*. 2:149.

GORLA D, PONCE C, DUJARDIN J.P, S. C. 2010. Control Strategies Against Triatominae. *American Trypanosomiasis Chagas Disease*. 233–245.

GORLA, D. E. 1991. Recovery of populations after insecticide application: an experimental field study. *Medical and Veterinary Entomology*. 5:311–324.

GORLA, D. E. 2002a. Variables ambientales registradas por sensores remotos como indicadores de la distribución geográfica de *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae). *Ecologia Austral*. 12, 117-127

GORLA, D. E., ABRAHAN, L., HERNÁNDEZ, M. L., PORCASI, X., HRELLAC, H. A., CARRIZO, H. & CATALÁ, S. S. 2013. New structures for goat corrals to control peridomestic populations of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in the Gran Chaco of Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 108:352–358.

GORLA, D. E., ORTIZ, R. V. & CATALÁ, S. S. 2015. Control of rural house infestation by *Triatoma infestans* in the Bolivian Chaco using a microencapsulated insecticide formulation. *Parasites & Vectors*. 8:255.

GORLA, D. E., PORCASI, X., HRELLAC, H. & CATALÁ, S. S. 2009. Spatial stratification of house infestation by *Triatoma infestans* in La Rioja, Argentina. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 80:405–409.

GORLA, D. E. & SCHOFIELD, C. J. 1989. Population dynamics of *Triatoma infestans* under natural climatic conditions in the Argentine Chaco. *Medical and Veterinary Entomology* 3:179–194.

- GRIJALVA, M. J., ESCALANTE, L., PAREDES, R. A., COSTALES, J. A., PADILLA, A., ROWLAND, E. C., AGUILAR, H. M. & RACINES, J. 2003. Seroprevalence and risk factors for *Trypanosoma cruzi* infection in the Amazon region of Ecuador. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 69:380–385.
- GUISAN, A., EDWARDS JR, T. C. & HASTIE, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*. 157:89–100.
- GUISAN, A., WEISS, S. B. & WEISS, A. D. 1999. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*. 143:107–122.
- GUISAN, A. & ZIMMERMANN, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*. 135:147–186.
- GUREVITZ, J. M., CEBALLOS, L. A., GASPE, M. S., ALVARADO-OTEGUI, J. A., ENRÍQUEZ, G. F., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2011. Factors affecting infestation by *Triatoma infestans* in a rural area of the humid Chaco in Argentina: a multi-model inference approach. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 5:1349.
- GUREVITZ, J. M., CEBALLOS, L. A., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2006. Flight initiation of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) under natural climatic conditions. *Journal of Medical Entomology*. 43:143–150.
- GUREVITZ, J. M., GASPE, M. S., ENRIQUEZ, G. F., PROVECHO, Y. M., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2013. Intensified surveillance and insecticide-based control of the Chagas disease vector *Triatoma infestans* in the Argentinean Chaco. *PLoS neglected tropical diseases*. 7:2158.
- GUREVITZ, J. M., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2007. Flight muscle dimorphism and heterogeneity in flight initiation of field-collected *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae). *Journal of Medical Entomology*. 44:186–191.
- GÜRTLER, R. E. 1999. Monitoreo poblacional de *Triatoma infestans* durante la fase de vigilancia en una comunidad rural del Noroeste Argentino. *Medicina*. 59:47-54.
- GÜRTLER, R. E. 2009. Sustainability of vector control strategies in the Gran Chaco Region: current challenges and possible approaches. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 104:52–59.
- GÜRTLER, R. E., CANALE, D. M., SPILLMANN, C., STARIOLO, R., SALOMÓN, O. D., BLANCO, S. & SEGURA, E. L. 2004. Effectiveness of residual spraying of peridomestic ecotopes

- with deltamethrin and permethrin on *Triatoma infestans* in rural western Argentina: a district-wide randomized trial. *Bulletin of the World Health Organization*. 82:196–205.
- GÜRTLER, R. E., CEBALLOS, L. A., STARIOLO, R., KITRON, U. & REITHINGER, R. 2009A. Effects of topical application of fipronil spot-on on dogs against the Chagas disease vector *Triatoma infestans*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 103:298–304.
- GÜRTLER, R. E., CEBALLOS, L. A., ORDÓÑEZ-KRASNOWSKI, P., LANATI, L. A., STARIOLO, R. & KITRON, U. 2009B. Strong host-feeding preferences of the vector *Triatoma infestans* modified by vector density: implications for the epidemiology of Chagas disease. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 3:447.
- GÜRTLER, R. E., CECERE, M. C., DEL PILAR FERNÁNDEZ, M., VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CEBALLOS, L. A., GUREVITZ, J. M., KITRON, U. & COHEN, J. E. 2014. Key source habitats and potential dispersal of *Triatoma infestans* populations in northwestern Argentina: Implications for vector control. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 8:e3238.
- GÜRTLER, R. E., CECERE, M. C., RUBEL, D. N. & SCHWEIGMANN, N. J. 1992. Determinants of the domiciliary density of *Triatoma infestans*, vector of Chagas disease. *Medical and Veterinary Entomology*. 6:75–83.
- GÜRTLER, R. E., KITRON, U., CECERE, M. C., SEGURA, E. L. & COHEN, J. E. 2007. Sustainable vector control and management of Chagas disease in the Gran Chaco, Argentina. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104:16194–16199.
- GÜRTLER, R. E., PETERSEN, R. M., CECERE, M. C., SCHWEIGMANN, N. J., CHUIT, R., GUALTIERI, J. M. & WISNIVESKY-COLLI, C. 1994. Chagas disease in north-west Argentina: risk of domestic reinfestation by *Triatoma infestans* after a single community-wide application of deltamethrin. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 88:27–30.
- HAMES, R. S., ROSENBERG, K. V, LOWE, J. D. & DHONDT, A. A. 2001. Site reoccupation in fragmented landscapes: testing predictions of metapopulation theory. *Journal of Animal Ecology* 70:182–190.
- HANSKI, I. 1998A. Metapopulation dynamics. *Nature*. 396:41.
- HANSKI, I. 1998B. Connecting the parameters of local extinction and metapopulation dynamics. *Oikos*. 390–396.

- HANSKI, I. 1999a. Habitat connectivity, habitat continuity, and metapopulations in dynamic landscapes. *Oikos*. 209–219.
- HANSKI, I. 2002. In the midst of ecology, conservation, and competing interests in the society. *Annales Zoologici Fennici*. 183–186.
- HANSKI, I. A. 1994. Patch occupancy dynamics in fragmented landscapes. *Ecology and Evolution*. 9:131–135.
- HANSKI, I. A. 1999B. Metapopulation Ecology. 328.
- HANSKI, I. A., GAGGIOTTI, O. E. & GAGGIOTTI, O. F. 2004. Ecology, Genetics and Evolution of metapopulations. Academic Press.
- HANSKI, I. & OVASKAINEN, O. 2000. The metapopulation capacity of a fragmented landscape. *Nature*. 404:755.
- HANSKI, I. & SIMBERLOFF, D. 1997. The metapopulation approach, its history, conceptual domain, and application to conservation. *Metapopulation biology*. 5–26.
- HASHIMOTO, K., CORDON-ROSALES, C., TRAMPE, R. & KAWABATA, M. 2006. Impact of single and multiple residual sprayings of pyrethroid insecticides against *Triatoma dimidiata* (Reduviidae; Triatominae), the principal vector of Chagas disease in Jutiapa, Guatemala. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 75:226.
- HERNÁNDEZ, M. L., ABRAHAN, L. B., DUJARDIN, J. P., GORLA, D. E. & CATALÁ, S. S. 2011. Phenotypic variability and population structure of peridomestic *Triatoma infestans* in rural areas of the arid Chaco (Western Argentina): spatial influence of macro-and microhabitats. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. 11:503–513.
- HERNÁNDEZ, M. L., AMELOTTI, I., LÓPEZ, P., ABRAHAN, L. B., GORLA, D. E. & CATALÁ, S. 2015. Primer registro de *Triatoma infestans* (Klug) (Hemiptera: Reduviidae) asociado a nidos de loros barranqueros (*Cyanoliseus patagonus*) (Aves: Psittacidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. 74:187–192.
- HUETE, A., JUSTICE, C., & W. VAN LEEUWEN, W. 1999. MODIS Vegetation index (MOD 13): Algorithm theoretical basis document Version 3. *University of Arizona*. 85:721.
- INDEC. 2010. Censo 2010. <https://www.indec.gob.ar/>.
- KAREIVA, P. 1990. Population dynamics in spatially complex environments: theory and data. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 330:175–190.

- KATSANEVAKIS, S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*. 81:229–235.
- KATSANEVAKIS, S. & MARAVELIAS, C. D. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*. 9:178–187.
- KIERSZENBAUM, F., GOTTLIEB, C. A. & BUDZKO, D. B. 1981. Antibody-independent, natural resistance of birds to *Trypanosoma cruzi* infection. *The Journal of Parasitology*. 656–660.
- KULLDORFF, M. 2006. SaTScan™ user guide. Boston.
- KULLDORFF, M., FEUER, E. J., MILLER, B. A. & FREEDMAN, L. S. 1997. Breast cancer clusters in the northeast United States: a geographic analysis. *American journal of Epidemiology*. 146:161–170.
- LARDEUX, F., DEPICKÈRE, S., ALIAGA, C., CHAVEZ, T. & ZAMBRANA, L. 2015. Experimental control of *Triatoma infestans* in poor rural villages of Bolivia through community participation. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 109:150–158.
- LARDEUX, F., DEPICKÈRE, S., DUCHON, S. & CHAVEZ, T. 2010. Insecticide resistance of *Triatoma infestans* (Hemiptera, Reduviidae) vector of Chagas disease in Bolivia. *Tropical Medicine and International Health*. 15:1037–1048.
- LAURICELLA, M. A., STARIOLO, R. L., RIARTE, A. R., SEGURA, E. L. & GÜRTLER, R. E. 2005. Distribution and pathogenicity of *Trypanosoma cruzi* isolated from peridomestic populations of *Triatoma infestans* and *Triatoma guasayana* from rural Western Argentina. *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz*. 100:123–129.
- LAWLESS, J. F. 1987. Negative binomial and mixed Poisson regression. *Canadian Journal of Statistics*. 15:209–225.
- LEHANE, M. J. & SCHOFIELD, C. J. 1981. Field experiments of dispersive flight by *Triatoma infestans*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 75:399–400.
- LEIBOLD, M. A., HOLYOAK, M., MOUQUET, N., AMARASEKARE, P., CHASE, J. M., HOOPES, M. F., HOLT, R. D., SHURIN, J. B., LAW, R. & TILMAN, D. 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology letters*. 7:601–613.

- LENT, H. & WYGODZINSKY, P. 1979. Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae), and their significance as vectors of Chagas' disease. *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 163:123–520.
- LEVINS, R. 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *American Entomologist*. 15:237–240.
- DE LIMA, M. G. & GASCON, C. 1999. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. *Biological Conservation*. 91:241–247.
- LORCA, M., GARCÍA, A., BAHAMONDE, M. I., FRITZ, A. & TASSARA, R. 2001. Certificación serológica de la interrupción de la transmisión vectorial de la enfermedad de Chagas en Chile. *Revista Médica de Chile*. 129:264–269.
- LUQUETTI, A. O. & RASSI, A. 2000. Diagnóstico laboratorial da infecção pelo *Trypanosoma cruzi*. *Trypanosoma cruzi e Doença de Chagas*. 2:344–378.
- MANDRINI, M. R., CEJAS, N. & BAZÁN, A. M. 2018. Erradicación de ranchos, ¿Erradicación de saberes: Reflexiones sobre la región noroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. *Anales del Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas*. 48: 83-94.
- MANNE, J., NAKAGAWA, J., YAMAGATA, Y., GOEHLER, A., BROWNSTEIN, J. S. & CASTRO, M. C. 2012. Triatomine infestation in Guatemala: spatial assessment after two rounds of vector control. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 86:446–454.
- MANRIQUE-ABRIL, D., MANRIQUE-ABRIL, F., LORCA, M. & OSPINA, J. 2012. Prevalencia de anticuerpos para *Trypanosoma cruzi* en caninos de dos municipios endémicos de Boyacá. *Revista Medicina, Veterinaria y Zootecnia*. 17:2916–2923.
- MARSDEN, P. D., VIRGENS, D., MAGALHAES, I., TAVARES-NETO, J., FERREIRA, R., COSTA, C. H., CASTRO, C. N., MACEDO, V. & PRATA, A. 1982. Domestic ecology of *Triatoma infestans* in Mambai, Goiás-Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*. 24:364.
- MARTI, G. A., ECHEVERRIA, M. G., WALECKX, E., SUSEVICH, M. L., BALSALOBRE, A. & GORLA, D. E. 2014. Triatominae in furnariid nests of the Argentine Gran Chaco. *Journal of Vector Ecology*. 39:66–71.
- MEDONE, P., CECCARELLI, S., PARHAM, P. E., FIGUERA, A. & RABINOVICH, J. E. 2015. The impact of climate change on the geographical distribution of two vectors of Chagas disease: implications for the force of infection. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 370.

- MILLER, M. E., DAVIS, C. S. & LANDIS, J. R. 1993. The analysis of longitudinal polytomous data: generalized estimating equations and connections with weighted least squares. *Biometrics*. 1033–1044.
- MINOLI, S. A. & LAZZARI, C. R. 2006. Take-off activity and orientation of triatomines (Heteroptera: Reduviidae) in relation to the presence of artificial lights. *Acta tropica*. 97:324–330.
- MOLINA, I., SALVADOR, F. & SÁNCHEZ-MONTALVÁ, A. 2016. Actualización en enfermedad de Chagas. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 34:132–138.
- MONCAYO, Á. & SILVEIRA, A. C. 2017. Current epidemiological trends of Chagas disease in Latin America and future challenges: epidemiology, surveillance, and health policies. *American Trypanosomiasis Chagas Disease (Second Edition)*. 22:59-88
- MONROY, C., BUSTAMANTE, D. M., PINEDA, S., RODAS, A., CASTRO, X., AYALA, V., QUIÑONES, J. & MOGUEL, B. 2009. House improvements and community participation in the control of *Triatoma dimidiata* re-infestation in Jutiapa, Guatemala. *Cadernos de Saúde Pública*. 25:168–178.
- MORGAN, L. M. 2001. Community participation in health: perpetual allure, persistent challenge. *Health Policy and Planning*. 16:221–230.
- MURCIA, L., CARRILERO, B., SAURA, D., IBORRA, M. A. & SEGOVIA, M. 2013. Diagnóstico y tratamiento de la enfermedad de Chagas. *Enfermedades infecciosas y microbiología clinica* 31:26–34.
- NAKAGAWA, J., HASHIMOTO, K., CORDON-ROSALES, C., ABRAHAM JUAREZ, J., TRAMPE, R. & MARROQUIN MARROQUIN, L. 2003. The impact of vector control on *Triatoma dimidiata* in the Guatemalan department of Jutiapa. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*. 97:288–297.
- NATTERO, J., PICCINALI, R. V., LOPES, C. M., HERNÁNDEZ, M. L., ABRAHAN, L., LOBBIA, P. A., RODRÍGUEZ, C. S. & DE LA FUENTE, A. L. C. 2017. Morphometric variability among the species of the Sordida subcomplex (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae): evidence for differentiation across the distribution range of *Triatoma sordida*. *Parasites & Vectors*. 10:412.
- NELDER, J. A. & BAKER, R. J. 1972. Generalized linear models. *Encyclopedia of Statistical Sciences*.

- NELDER J. A & WEDDERBURN, R. 1972. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society Series*. 135:370-384.
- NOIREAU, F. 1999. La enfermedad de Chagas y sus particularidades epidemiológicas en Bolivia. *Chagas, la Enfermedad en Bolivia*. 17–47.
- NOIREAU, F. 2009. Wild *Triatoma infestans*, a potential threat that needs to be monitored. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 104:60–64.
- NOIREAU, F. & DUJARDIN, J.-P. 2001. Flight and nutritional status of sylvatic *Triatoma sordida* and *Triatoma guasayana*. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 96:385–389.
- OPS/OMS. . INCOSUR-Chagas: Iniciativa del Cono Sur para controlar y eliminar la enfermedad de Chagas.
- OPS/OMS 2018. Paraguay logró interrumpir la transmisión vectorial domiciliar de la enfermedad de Chagas.
- OVASKAINEN, O. & HANSKI, I. 2003. The species–area relationship derived from species-specific incidence functions. *Ecology Letters*. 6:903–909.
- PATTERSON, J. S., BARBOSA, S. E. & FELICIANGELI, M. D. 2009. On the genus *Panstrongylus* Berg 1879: evolution, ecology and epidemiological significance. *Acta Tropica*. 110:187–199.
- PEDRINI, N., MIJAILOVSKY, S. J., GIROTTI, J. R., STARIOLO, R., CARDOZO, R. M., GENTILE, A. & JUÁREZ, M. P. 2009. Control of pyrethroid-resistant Chagas disease vectors with entomopathogenic fungi. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 3:434.
- PEREIRA, K. S., SCHMIDT, F. L., GUARALDO, A. M. A., FRANCO, R. M. B., DIAS, V. L. & PASSOS, L. A. C. 2009. Chagas’ disease as a foodborne illness. *Journal of Food Protection*. 72:441–446.
- PESSOA, G. C. D., VINÃS, P. A., ROSA, A. C. L. & DIOTAIUTI, L. 2015. History of insecticide resistance of Triatominae vectors. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*. 48:380–389.
- PICOLLO, M. I., VASSENA, C., ORIHUELA, P. S., BARRIOS, S., ZAIDEMBERG, M. & ZERBA, E. 2005. High resistance to pyrethroid insecticides associated with ineffective field treatments in *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) from Northern Argentina. *Journal of Medical Entomology*. 42:637–642.

- PORCASI, X., CATALÁ, S. S., HRELLAC, H., SCAVUZZO, M. C. & GORLA, D. E. 2006. Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in southern area of Gran Chaco in Argentina. *Journal of Medical Entomology*. 43:1060–1067.
- PORCASI, X., HRELLAC, H., CATALÁ, S., MORENO, M., ABRAHAN, L., HERNANDEZ, L. & GORLA, D. E. 2007. Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* in the region of Los Llanos (La Rioja, Argentina). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 102:63–68.
- RASSI JR, A., RASSI, A. & MARIN-NETO, J. A. 2010. Chagas disease. *The Lancet*. 375:1388–1402.
- RENZO, A. & CARLOS, J. 2005. La concordancia entre dos tests clínicos para casos binarios: problemas y solución. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. 39:435–444.
- RIBEIRO, G., GURGEL-GONÇALVES, R., REIS, R., SANTOS, C., AMORIM, A., ANDRADE, S. & REIS, M. 2015. Frequent house invasion of *Trypanosoma cruzi*-infected triatomines in a suburban area of Brazil. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 9:3–678.
- RICKETTS, T. H. 2001. The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist*. 158:87–99.
- RODRÍGUEZ-PLANES, L. I., GASPE, M. S., ENRIQUEZ, G. F. & GÜRTLER, R. E. 2017. Habitat-Specific Occupancy and a Metapopulation Model of *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae), a Secondary Vector of Chagas Disease, in Northeastern Argentina. *Journal of Medical Entomology*. 55:370–381.
- RODRÍGUEZ-PLANES, L. I., VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CECERE, M. C., CANALE, D. M. & GÜRTLER, R. E. 2015. Selective insecticide applications directed against (Hemiptera: Reduviidae) affected a nontarget secondary vector of Chagas disease, *Triatoma garciabesi*. *Journal of Medical Entomology*. 53:144–151.
- ROJAS DE ARIAS, A. 2016. La Certificación del Corte de Transmisión Vectorial del *Trypanosoma cruzi*, agente etiológico de la enfermedad de Chagas. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*. 14:3–6.
- ROJAS DE ARIAS, A., FERRO, E. A., FERREIRA, M. E. & SIMANCAS, L. C. 1999. Chagas disease vector control through different intervention modalities in endemic localities of Paraguay. *Bulletin of the World Health Organization*. 77:331–339.

- ROLÓN, G., OLIVAREZ, J., DORADO, P. & VARELA FREIRE, G. 2016. Las construcciones del espacio domiciliar y peridomiciliar rural como factores de riesgo de la enfermedad de Chagas. *Construcción con Tierra*. 7:57–68.
- RONDEROS, R., SCHNACK, J. & MAURI, R. 1980. Resultados preliminares respecto de la ecología de *Triatoma infestans* (Klug) especies congénéricas con referencia especial a poblaciones peridomiciliarias. *Medicina*. 40:187–196.
- ROSSI, J. C. N., DUARTE, E. C. & GURGEL-GONÇALVES, R. 2015. Factors associated with the occurrence of *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) in rural localities of Central-West Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 110:192–200.
- SALVATELLA, R., IRABEDRA, P. & CASTELLANOS, L. G. 2014. Interruption of vector transmission by native vectors and “the art of the possible”. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 109:122–130.
- SANMARTINO, M., MENGASCINI, A., MENEGAZ, A., MORDEGLIA, C. & CECCARELLI, S. 2012. Miradas Caleidoscópicas sobre el Chagas. Una experiencia educativa en el Museo de La Plata. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 9:265–273.
- SANTO ORIHUELA, P. L., VASSENA, C. V., ZERBA, E. N. & PICOLLO, M. I. 2008. Relative Contribution of Monooxygenase and Esterase to Pyrethroid Resistance in *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) from Argentina and Bolivia. *Journal of Medical Entomology*. 45:298–306.
- SAUNDERS, M., SMALL, A., DEDICOAT, M. & ROBERTS, L. 2012. The development and validation of a risk score for household infestation by *Triatoma infestans*, a Bolivian vector of Chagas disease. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 106:677–682.
- SCHMUNIS, G. A. 2007. Epidemiology of Chagas disease in non endemic countries: the role of international migration. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 102:75–86.
- SCHOFIELD, C. 2001. Field testing and evaluation of insecticides for indoor residual spraying against domestic vectors of Chagas disease. *World Health Organization*. 54
- SCHOFIELD, C. J. 1994. Triatominae: biology & control. Eurocommunica Publications.
- SCHOFIELD, C. J., DIOTAIUTI, L. & DUJARDIN, J. P. 1999. The process of domestication in Triatominae. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 94:375–378.
- SCHOFIELD, C. J., JANNIN, J. & SALVATELLA, R. 2006. The future of Chagas disease control. *Trends in parasitology* 22:583–588. .

- SCHOFIELD, C. J. & KABAYO, J. P. 2008. Trypanosomiasis vector control in Africa and Latin America. *Parasites & Vectors*. 1:24.
- SCHOFIELD, C. J., LEHANE, M. J., MCEWAN, P., CATALÁ, S. S. & GORLA, D. E. 1991. Dispersive flight by *Triatoma sordida*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 85:676–678.
- SCHOFIELD, C. J., LEHANE, M. J., MCEWEN, P., CATALÁ, S. S. & GORLA, D. E. 1992. Dispersive flight by *Triatoma infestans* under natural climatic conditions in Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*. 6:51–56.
- SCHOFIELD, C. J. & MARSDEN, P. D. 1982. Efecto del revoque de las paredes sobre una población doméstica de *Traitoma infestans*. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*. 93:3–8.
- SEGURA, E. L., ESQUIVEL, M. L., SALOMÓN, O., GÓMEZ, A. O., SOSA ESTANI, S., LUNA, C. A., TULIÁN, L., HURVITZ, A., BLANCO, S. & ANDRÉS, A. 1994. Participación comunitaria en el Programa Nacional de Control de la Transmisión de la Enfermedad de Chagas. *Medicina*. 54:610–611.
- SHERLOCK, I. A., CARCAVALLO, R. U. & GALÍNDEZ-GIRÓN, I. 1997. List of natural and experimental flagellate infections in several Triatominae species. *Atlas of Chagas Disease Vectors in the Americas*. 1:289–298.
- SILISTINO-SOUZA, R., ALEVI, K. C. C., CASTRO, N. F. C., FREITAS, M. N., PAPA, M. D., SCANDAR, S. A. S., BESTETTI, R. R., ROSA, J. A. DA & AZEREDO-OLIVEIRA, M. T. V. 2013. Entoepidemiology of Chagas disease in northwest São Paulo and cytogenetic analysis of its main vector, *Triatoma sordida* (Hemiptera: Triatominae). *Genetics and Molecular Research*. 5810–5819.
- SILVEIRA, A. C. 1999. Current status of vector transmission control of Chagas' disease in the Americas. *Atlas dos vectores da Doença de Chagas nas Américas*. 1.
- SILVEIRA, A. C. 2002. El control de la enfermedad de Chagas en los países del Cono Sur de América: historia de una iniciativa internacional. *Facultad de Medicina*. 246.
- SJOGREN-GULVE, P. 1996. Using logistic regression to model metapopulation dynamics: large scale forestry extirpates the pool frog. *Metapopulations and Wildlife Conservation*. Island Press.
- SOETAERT, K. & HERMAN, P. M. 2009. A practical guide to ecological modelling-using R as a simulation platform. *R Package Version*. 1.

- SPILLMANN, C., BURRONE, S. & COTO, H. 2013. Análisis de la situación epidemiológica de la enfermedad de Chagas en Argentina: avances en el control, 2012. *Revista Argentina de Salud Publica*. 4:40–44.
- SZUMLEWICZ, A. P. 1976. Laboratory colonies of Triatominae, biology and population dynamics. *American Trypanosomiasis Research*. 63–82.
- TAYLOR, P DFAHRIG, L, WITH, K. 2006. Landscape connectivity: a return to the basics. *Connectivity Conservation*. 29–43.
- TOLOZA, A. C., GERMANO, M., CUETO, G. M., VASSENA, C., ZERBA, E. & PICOLLO, M. I. 2008. Differential Patterns of Insecticide Resistance in Eggs and First Instars of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) from Argentina and Bolivia. *Journal of Medical Entomology*. 45:421–426.
- TURRIAGO GÓMEZ, B. C., VALLEJO, G. A. & GUHL, F. 2008. Seroprevalencia de *Trypanosoma cruzi* en perros de dos áreas endémicas de Colombia. *Revista Facultad de Medicina*. 16.
- VALENÇA-BARBOSA, C., LIMA, M. M., SARQUIS, O., BEZERRA, C. M. & ABAD-FRANCH, F. 2014. Modeling disease vector occurrence when detection is imperfect II: drivers of site-occupancy by synanthropic *Triatoma brasiliensis* in the Brazilian northeast. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 8:2861.
- VALLVÉ, S. L., ROJO, H. & WISNIVESKY-COLLI, C. 1995. Ecología urbana de *Triatoma infestans* en Argentina: asociación entre *Triatoma infestans* y palomares. *Revista de Saúde Pública*. 29:192–198.
- VÁSQUEZ, E. T. & ROQUE, J. V. 2011. Certificación de la interrupción de la transmisión vectorial de la enfermedad de Chagas en áreas endémicas de Tacna, Perú. *Revista Peruana de Epidemiología* 15:5.
- VASSENA, C. V, PICOLLO, M. I. & ZERBA, E. N. 2000. Insecticide resistance in Brazilian *Triatoma infestans* and Venezuelan *Rhodnius prolixus*. *Medical and Veterinary Entomology*. 14:51–55.
- VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CEBALLOS, L. A., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2004. Active dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in rural northwestern Argentina. *Journal of Medical Entomology*. 41:614–621.

- VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CECERE, M. C., CANALE, D. M., GÜRTLER, R. E. & KITRON, U. 2005. Spatiotemporal patterns of reinfestation by *Triatoma guasayana* (Hemiptera: Reduviidae) in a rural community of northwestern Argentina. *Journal of Medical Entomology*. 42:571–581.
- VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CEBALLOS, L. A., MARCET, P. L., CECERE, M. C., CARDINAL, M. V, KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2006. Seasonal variations in active dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* in rural north-western Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*. 20:273–279.
- VAZQUEZ-PROKOPEC, G. M., CECERE, M. C., KITRON, U. & GÜRTLER, R. E. 2008. Environmental and demographic factors determining the spatial distribution of *Triatoma guasayana* in peridomestic and semi-sylvatic habitats of rural northwestern Argentina. *Medical and Veterinary entomology*. 22:273–282.
- VEZZANI, D., SCHWEIGMANN, N. J., PIETROKOVSKY, S. M. & WISNIVESKY-COLLI, C. 2001. Characterization of *Triatoma guasayana* biotopes in a hardwood forest of Santiago del Estero, Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 96:459–466.
- WALECKX, E., CAMARA-MEJIA, J., RAMIREZ-SIERRA, M. J., CRUZ-CHAN, V., ROSADO-VALLADO, M., VAZQUEZ-NARVAEZ, S., NAJERA-VAZQUEZ, R., GOURBIÈRE, S. & DUMONTEIL, E. 2015. An innovative ecohealth intervention for Chagas disease vector control in Yucatan, Mexico. *Revista Biomédica*. 26:75–86.
- WALKER, R. S., NOVARO, A. J. & BRANCH, L. C. 2003. Effects of patch attributes, barriers, and distance between patches on the distribution of a rock-dwelling rodent (*Lagidium viscacia*). *Landscape Ecology*. 18:185–192.
- WATSON, P. F. & PETRIE, A. 2010. Method agreement analysis: a review of correct methodology. *Theriogenology*. 73:1167–1179.
- WENDEL, S. & GONZAGA, A. L. 1993. Chagas' disease and blood transfusion: a new world problem?. *Vox Sanguinis*. 64:1–12.
- WENDEL, S. & LEIBY, D. A. 2007. Parasitic infections in the blood supply: assessing and countering the threat. *Developments in Biologicals*. 127–17.
- WHO-World Health Organization. 2018. Chagas disease (American trypanosomiasis). <http://www.who.int/chagas/en/>.

- WINCH, P., KENDALL, C. & GUBLER, D. 1992. Effectiveness of community participation in vector-borne disease control. *Health Policy and Planning*. 7:342–351.
- ZAMORA, D. M. B., HERNÁNDEZ, M. M., TORRES, N., ZÚNIGA, C., SOSA, W., DE ABREGO, V. & ESCOBAR, M. C. M. 2015. Information to act: household characteristics are predictors of domestic infestation with the Chagas vector *Triatoma dimidiata* in Central America. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 93:97–107.
- ZEGER, S. L. & LIANG, K.-Y. 1986. Longitudinal data analysis for discrete and continuous outcomes. *Biometrics*. 121–130.
- ZEGER, S. L., LIANG, K.-Y. & ALBERT, P. S. 1988. Models for longitudinal data: a generalized estimating equation approach. *Biometrics*. 1049–1060.
- ZELEDON, R. 1974. Epidemiology, modes of transmission and reservoir hosts of Chagas' disease. *Trypanosomiasis and Leishmaniasis with Special Reference to Chagas' Disease*. 51–85
- ZERBA, E. N. 1999. Susceptibility and resistance to insecticides of Chagas disease vectors. *Medicina*. 59:41–46.
- ZU DOHNA, H., CECERE, M. C., GÜRTLER, R. E., KITRON, U. & COHEN, J. E. 2007. Re-establishment of local populations of vectors of Chagas disease after insecticide spraying. *Journal of Applied Ecology*. 44:220–227.
- ZU DOHNA, H., CECERE, M. C., GÜRTLER, R. E., KITRON, U. & COHEN, J. E. 2009. Spatial re-establishment dynamics of local populations of vectors of Chagas disease. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 3:490.

COPIAS DE LAS PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS



COPIA DE LAS PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

1) CAVALLO, M. J., AMELOTI, I. & GORLA, D. E. 2016. Invasion of rural houses by wild Triatominae in the arid Chaco. *Journal of Vector Ecology*. 41(1): 97-102. <https://doi.org/10.1111/jvec.12199>.

2) CAVALLO, M. J., AMELOTI, I., ABRAHAN, L., CUETO, G. & GORLA, D. E. 2018. Rural houses infestation by *Triatoma infestans* in northwestern Argentina: Vector control in a high spatial heterogeneous infestation area. *PloS one*. 13(8): e0201391. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391>.

Invasion of rural houses by wild Triatominae in the arid Chaco

María J. Cavallo¹✉, Ivana Amelotti¹, and David E. Gorla²

¹Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de La Rioja (CRILAR-CONICET) Entre Ríos y Mendoza s/n. Anillaco, La Rioja, Argentina, CP 5301, maria.cavallo@crilar-conicet.gob.ar

²Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV-CONICET), Casilla de Correo 495, Córdoba, CP 5000, Argentina

Received 14 October 2015; Accepted 8 December 2015

ABSTRACT: Triatomines are the vectors of *Trypanosoma cruzi*, the etiologic agent of Chagas disease, the main endemic disease affecting five to seven million people in Latin America. Besides *Triatoma infestans*, the most important *T. cruzi* vector in the Gran Chaco region, other triatomine species associated with sylvatic birds and mammals are responsible for the maintenance of the wild cycle of *T. cruzi*. The present study aimed at evaluating the house invasion by sylvatic triatomine species in rural communities of the Los Llanos region (La Rioja, Argentina) and its association with environmental variables. House invasion by flying adult triatomines was recorded by trained collectors that surveyed over 377 houses distributed over 73 localities in a 56,600 km² study region, between October, 2014 and February, 2015. The result of the study showed the frequent house invasion by adult triatomines: 26.3% houses were infested in 53% of the localities. Seven sylvatic triatomine species were collected, with *T. guasayana* and *T. garciabesi* among the most abundant. House invasion by triatomine species showed no spatial aggregation and was not associated with temperature, precipitation, or vegetation cover at the spatial scale considered in the present study. House invasion by the epidemiologically important *T. infestans* is a concern of rural communities. Besides constituting a latent, although low, risk, the presence of these species negatively interferes with the vigilance activities of the provincial Chagas disease program. *Journal of Vector Ecology* 41 (1): 97-102. 2016.

Keyword Index: *Triatoma guasayana*, *Triatoma garciabesi*, environmental variables.

INTRODUCTION

Chagas disease is a vector-borne tropical disease that affects the most vulnerable populations across Latin America. At present, an estimated seven to eight million people are infected with *Trypanosoma cruzi* and more than 25 million people are at risk of contracting Chagas disease. Insects of the Triatominae subfamily (Hemiptera: Reduviidae) are the vectors of *T. cruzi* (Lent and Wygodzinsky 1979). Among Triatominae, only a few species were successful in establishing domestic colonies, thus potentially becoming involved in the transmission of *T. cruzi* to humans (Noireau et al. 2009).

Of the 140 species of triatomines, 12 occur in the Gran Chaco of Argentina (Gorla and Noireau 2010). Within this region, no Triatominae have been recorded to establish colonies within houses except *Triatoma infestans*, the main vector of *T. cruzi* to humans. The arid Gran Chaco in central Argentina has been historically hyperendemic for Chagas disease. However, in the southern area, vector control interventions significantly decreased house infestation in the rural communities during the 1990s (Porcasi et al. 2007). With the reduction of the intradomestic infestation of *T. infestans*, rural communities frequently report the house invasion by flying triatomines and contact the health system for insecticide applications. These flying triatomines are often *T. infestans* dispersing from peridomestic ecotopes, but on occasion, these are non-*T. infestans* triatomines (Abraham et al. 2011). As part of the protocol of provincial health agencies in charge of Chagas disease vector control, triatomines other than *T. infestans* are not targets of control interventions using pyrethroid insecticides. Consequently, finding non-*T. infestans* adults inside houses does not promote an insecticide application, as it is assumed that these adults do not represent an epidemiological risk

for the transmission of *T. cruzi* to humans.

Triatomines other than *T. infestans* in Gran Chaco are associated with sylvatic birds and mammals, but in some cases they colonize peridomestic structures. *T. garciabesi*, *T. guasayana*, and *T. sordida* are frequently observed in corrals and chicken coops (Canale et al. 2000). Other species have only been recorded in sylvatic ecotopes associated with birds and mammals (*T. breyeri*, *T. rubrovaria*, *T. eratyrusiformis*, *T. platensis*, *T. delpontei*, *Panstrongylus guentheri*, *Pa. geniculatus*, and *Psammolestes coreodes*) (Bar et al. 1993, Bar et al. 2002, Patterson et al. 2009, Canale et al. 2000, Noireau and Dujardin 2001, Marti et al. 2014). Cactaceous plants, grass, and scrub constitute the normal habitat for sylvatic triatomine species that occasionally fly into domiciles. These triatomine species play a role in the maintenance of the sylvatic cycle of *T. cruzi* transmission (Bar et al. 2002, Ceballos et al. 2006, Cecere et al. 2015) and represent a persistent low risk for the transmission of *T. cruzi* to human beings.

The purpose of this study was to evaluate the occurrence of sylvatic Triatominae invasions by active flight into rural houses of the semi-arid Gran Chaco in Argentina and to estimate their relationship with environmental variables. The study was guided by two main questions: 1) is the distribution of sylvatic triatomine invasions of the arid Gran Chaco associated with environmental variables? and 2) are invasions more frequent in houses nearer to vegetated areas that could harbor triatomine hosts than in houses distant from vegetated areas?

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was carried out in the southern extremes of Los Llanos, La Rioja Province, Argentina (31°21' S, 66°35' W), over an

area of 56,585 km². Los Llanos is a semi-arid plain region with widespread and dispersed rural communities, with 40% of the houses located in localities with fewer than eight houses (Gorla et al. 2009). Most of the traditional houses are constructed with adobe walls, and roofs are made of a multi-layered structure of mud and local vegetation. In these rural communities, people live under a system of economic subsistence, mainly based on the use of domestic animals (goats, chickens, pigs, and cattle). The main peridomestic structures in the study area are chicken coops and goat corrals. The chicken coops are commonly constructed with wood, sticks, bricks, and/or wire around the perimeter. The roofs may have branches, wood, leather, or plastic. Chicken coops are 10-20 m from the houses. Goat corrals usually have a more homogeneous construction, with interlaced sticks or tree branches as walls and a roofed area for calves. The distance between the house and goat corrals varies between 30 and 100 m.

In 2008, the provincial government of La Rioja, Argentina, began a program to improve the living conditions of rural communities by building new houses to replace all the traditional ones. Since 2012, electric lines have been extended into the rural communities, together with the installation of water resource infrastructure in several areas.

A total of 377 rural houses (new and traditional) distributed over 73 localities in the Departments Rosario Vera Peñaloza, Ángel Vicente Peñaloza, and San Martín (south of La Rioja province) were included in the sample used to record the house invasion by adult Triatominae between October, 2014 and February, 2015 (spring and summer seasons). For operational reasons, a locality was defined as a group of houses separated by more than 2 km from another group. All the houses included in the sample were periodically evaluated by the Programa Chagas La Rioja. Those found infested by *T. infestans* received a standard application of a suspension concentrate formulation of a pyrethroid insecticide, using manual sprayers by technicians of Programa Chagas La Rioja. All rural houses were geo-referenced with a hand-held GPS and identified with an individual code that was marked on a metal plaque attached to an external wall. Entomologic data, evaluation and spraying date, family data, type and number of domestic animals, and construction details of each house were recorded on standard forms and entered into a spatial database that constitutes the geographic information system of the Programa Chagas La Rioja.

Insect collection

Owners of each house selected for this study received a briefing about the objective of the study, were invited to participate, and were shown the type of triatomine species that would eventually invade the house. Each owner received a labeled self-sealing plastic bag with a clear explanation of the procedure for collecting and keeping the insects in the plastic bags. This insect collection method was used and identified as one of the most sensitive sampling techniques for domestic triatomines, especially for low density populations (Cecere et al. 2004, Abad-Franch et al. 2011). Two weeks after the distribution of plastic bags, the research team returned to each house to collect the bags. This procedure was carried out in October, 2014 (late spring) and February, 2015 (late summer). Triatomines collected in the bags were classified and data recorded into the database including species (Lent and

Wygodzinsky 1979), age class, sex, number of insects, house number, and collection site (intradomestic or peridomestic).

Data analysis

A house was recorded as infested when the plastic bag contained one or more triatomine specimens. House infestation for each species was calculated, taking into consideration the percentage of houses infested by a particular species within a locality or group of localities. Spatial aggregation of house infestation by species was estimated using the satscan statistics in order to identify eventual clusters of high house infestation, compared with the regional average. The unit of analysis was the locality, using a circular shape and a Poisson model for cluster detection (Kulldorff 1997).

To study the relationship between the occurrence of house invasion and environmental variables, the ecological niche modeling approach was used. Response variables were abundance and occurrence of each triatomine species. Predictor variables included the 20 temperature- and precipitation-derived variables and elevation from the *Worldclim* database (www.worldclim.org), and vegetation cover (see below). *Worldclim* variables and elevation were formatted as raster files with a pixel size of 1 km and were used to fit generalized linear models to estimate triatomine abundance (count data) and occurrence (binary variable). The former was modeled using a Poisson distribution and the latter with a binomial distribution. Variable collinearity was estimated using the *vif* function of the *car* package of R (<https://cran.r-project.org/web/packages/car/car.pdf>); variables with *vif*>10 were discarded from the models. Goodness of fit was calculated using the *pROC* package.

In order to verify the hypothesis that houses nearer vegetated areas would report higher frequency of triatomine invasions, vegetation cover classified as shrub or forest surrounding studied houses was estimated in concentric circles of 100, 500, and 1,000 mts. Vegetation cover was estimated from the normalized difference vegetation index (NDVI) calculated using Landsat 8 imagery, at a 30x30 m nominal spatial resolution. Landsat 8 scenes covering the study area (path and row 230-082, 231-081, and 231-082) of September and October, 2014 were downloaded from www.earthexplorer.usgs.gov. The atmospheric Dark Object Subtraction method (DOS1 correction, (Chavez Jr. 1988) was applied to the raw bands using the semi-automated classification (SCP) plug-in of QGIS (qgis desktop 2.4). NDVI was calculated using the standard equation $(B5-B4)/(B5+B4)$, where B5 and B4 are Landsat 8 bands 5 (infrared) and 4 (red), respectively.

RESULTS

A total of eight Triatominae species were collected by house owners in the study area. *T. infestans* was the most abundantly collected, and results on this species will be reported elsewhere. From now on, reference to collected triatomines will include all triatomine species collected during the study except *T. infestans*. The other seven species, peridomestic and/or sylvatic triatomines, are listed in Table 1. Of the 377 houses included in the study, 26.3% were infested and were distributed in 39 localities. All collected specimens were adults that flew into the houses from either the sylvatic environment and/or peridomestic structures.

Table 1. Number of males and females invading houses by species. The sex ratio explains the significance of a 1:1 ratio null hypothesis. NS: not significant; brackets include the 95% confidence interval for males.

Species	Males	Females	Sex ratio 1:1	No. of localities	No. of Houses
<i>Triatoma garciabesi</i>	81	58	NS	26	46
<i>Triatoma guasayana</i>	80	131	P = 0.0004 (31.3-44.8)	34	73
<i>Triatoma eratyrusiformis</i>	12	16	NS	5	12
<i>Panstrongylus guentheri</i>	11	3	P = 0.032 (49.2 – 95.4)	7	9
<i>Triatoma platensis</i>	4	4	NS	3	4
<i>Triatoma breyeri</i>	0	1	-	1	1
<i>Triatoma delpontei</i>	0	1	-	1	1

The most abundant species were *T. guasayana* (Figure 1) and *T. garciabesi* (Figure 2), of which 211 and 139 adult specimens were collected, respectively. *T. guasayana* females invaded houses more frequently than males (sex ratio F:M > 1, $P < 0.05$), whereas a higher number (marginally significant) of *P. guentheri* males invaded houses (Table 1). House invasion by active flight occurred mainly during late spring, as 90.8% of the specimens were collected in November/December.

The most frequent species invading houses was *T. guasayana*, found in 19.4% of the studied houses and 46.6% of the studied localities. The second most frequent was *T. garciabesi*, found in 12.2% of the houses and 35.6% of the localities (Table 1). The occurrence of house invasion showed no aggregation at the level of localities (measured by the SatScan statistic) either for *T. guasayana* or *T. garciabesi*. Table 2 shows the very low fit of the derived models. Minor differences between environmental values in presence and absence locations, within and among species, which might explain the lack of significance of the tested models, were found.

Vegetation cover (as measured by the Landsat 8 NDVI) around houses invaded by triatomines was not different from vegetation cover around houses not invaded by triatomines. However, *T. garciabesi* was more frequent where there was an intermediate vegetation cover (NDVI values between 0.25 and 0.35) near the house (≤ 100 mts) and there was intermediate vegetation cover (NDVI between 0.3 and 0.4) within a 1,000 mts circle around the house. *Triatoma guasayana* was more frequent with low vegetation cover (NDVI < 0.25) near the house (≤ 100 mts) and intermediate vegetation cover (NDVI between 0.25 and 0.35) within a circle of 1,000 mts around the house. No species were collected in houses where vegetation cover was high (NDVI > 0.4).

DISCUSSION

Studies on sylvatic triatomines of the Gran Chaco were usually based on active search captures of sylvatic and/or peridomestic ecotopes and/or the use of light traps (Abraham et al. 2011, Vazquez-Prokopec et al. 2004). This study reports for the first time the invasion of domestic premises by sylvatic triatomines, arriving at rural houses during the active dispersal process, using a triatomine collection technique based on community participation. Our results show that the number of adult triatomines reaching rural houses in Los Llanos Riojanos was high compared to the number of individuals captured in Santiago del Estero using light traps (Vazquez-Prokopec et al. 2004, Abraham et al. 2011). Seven species (other than *T. infestans*) arrive frequently at rural houses during the first part of the warm season.

Triatoma guasayana and *T. garciabesi* were the most recurrent species approaching the houses, with a higher abundance of the former, unlike the findings of Canale et al. (2000) that collected almost five times more *T. garciabesi* than *T. guasayana*. *T. guasayana* has been more frequently found associated with peridomestic structures of rural houses, such as goat corrals, piled materials, or orchard fences (Canale et al. 2000) and adults were collected near light sources (Wisnivesky-Colli et al. 1993). This study shows that *T. guasayana* females were more abundant earlier in the season. However, other studies show dominance of different sexes at the beginning or at the end of the warm season. *T. garciabesi* was most frequently found below the bark of *Prosopis* spp trees, where chickens usually spend the night (Canale et al. 2000).

No evidence of spatial aggregation of house invasion by either *T. guasayana* or *T. garciabesi* was found in this study. It is remarkable that none of the environmental variables were able

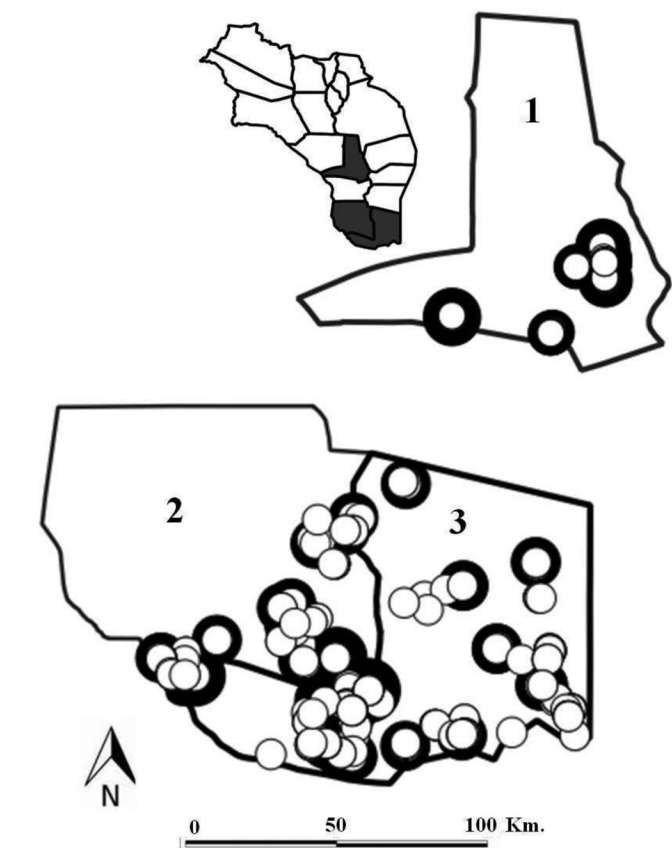


Figure 1. Distribution of house infestation by *Triatoma guasayana* in the study area. 1: Ángel Vicente Peñaloza Department, 2: Rosario Vera Peñaloza Department, 3: San Martín Department. Circles indicate location of studied rural houses. White circles: uninfested house; black circles infested house with number of *T. guasayana* proportional to circle diameter.

to describe the distribution and/or the abundance of the most frequently collected species (*T. guasayana* and *T. garciabesi*). In contrast, several other studies showed that temperature- and rainfall-related variables were mainly associated with the distribution of Triatominae species. The absence of relationship in this case suggests that either none of the variables is affecting the species distribution, which we believe is unlikely, or that the study area is environmentally very homogeneous for the variables included in the modeling estimation, as was shown by the very similar values of environmental variables in sites with and without the occurrence of the most frequent species. Although models for the presence and/or abundance of *T. infestans* show strong

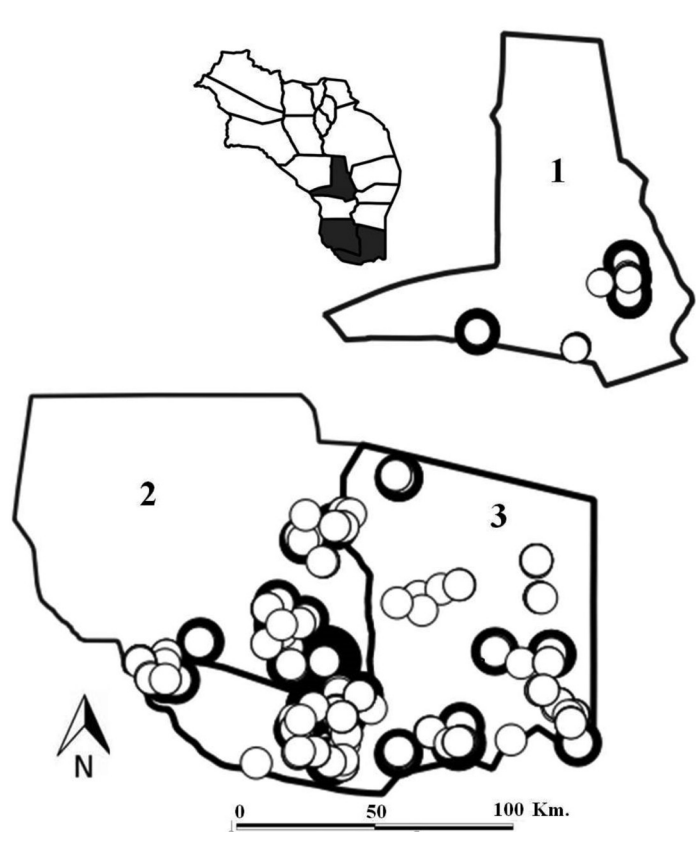


Figure 2. Distribution of house infestation by *Triatoma garciabesi* in the study area. 1: Ángel Vicente Peñaloza Department, 2: Rosario Vera Peñaloza Department, 3: San Martín Department. Circles indicate location of studied rural houses. White circles: uninfested house; black circles infested house with number of *T. garciabesi* proportional to circle diameter.

association with peridomestic features (animals, corrals, deposits, etc.), this is not expected in this case, as wild triatomines rarely colonize the peridomestic area and find refuge and blood sources in wild environments.

We found no evidence of increasing frequency of house invasion in areas with high vegetation cover. However, a higher number of *T. guasayana* was found in houses with nearby and distant (<1,000 m) intermediate vegetation cover. *T. garciabesi* was found in houses with nearby low and distant (<1,000 m) intermediate vegetation cover. *Triatoma infestans* is still the most important vector of *Trypanosoma cruzi* in the Gran Chaco region. Once responsible for 80% of the new *T. cruzi* infections in the

Table 2. Goodness of fit of generalized linear models for *T. garciabesi* and *T. guasayana* presence (binomial link) or abundance (Poisson link). Env. Vars: Significant environmental variables remaining in the model after removing those with $vif > 1$, Approx R sq: Approximate R squared, d.f degrees of freedom, bio1: annual mean temperature, bio3: isothermality, bio15: precipitation seasonality

	Null deviance (d.f.)	Residual deviance (d.f.)	Approx. R sq	Env. Vars
<i>T. garciabesi</i> presence	259.3 (376)	244.45 (361)	0.057	none
<i>T. garciabesi</i> abundance	608.9 (376)	545.2 (373)	0.103	bio1, bio3, bio15
<i>T. guasayana</i> presence	358.9 (376)	335.1 (361)	0.06	none
<i>T. guasayana</i> abundance	865.3 (376)	837.5 (372)	0.032	bio15

Southern Cone countries of South America (because of the very abundant populations that existed within the rural houses), it has now dropped over 90% of its original distribution (Schofield et al. 2006). The occupation of a *T. infestans* niche, once controlled, does not occur since wild triatomine species of the Gran Chaco rarely colonize rooms of rural houses and they have much lower vectorial capacity than *T. infestans* on the transmission of *T. cruzi*.

Species found in lower frequency in this study, including *T. delpontei* and *T. platensis*, are commonly associated with psittacid (the former) and furnariid (the latter) nests (Brewer et al. 1978, Marti et al. 2014). These species have very low epidemiological importance, as they are associated with birds (refractory to *T. cruzi* infection), therefore they are very rarely found infected. However, *T. platensis* can be found colonizing peridomestic structures of rural houses and hybrids with *T. infestans* have been found (Marti et al. 2014). *P. guentheri* has been found in peridomestic structures associated with rodents and didelphids (Lent and Wygodzinsky 1979), whereas *T. eratusiformis* is an aggressive species that inhabits mountainous areas, rocky environments, and stone fences in peridomestic areas where it is associated with edentates and rodents. These mammals can show very high infection prevalence of *T. cruzi*, as in the case of *Microcavia australis* (Cecere et al. 2015).

The main limitations of this study relate to the extension of the insect collection period of only one year and the heterogeneity in the insect collection ability that could vary among house owners. This study is in progress and insect collection within the study area is planned for a second warm season. Although the detected triatomine species do not pose a high epidemiological risk, they represent a source of concern for the rural communities. People frequently request the intervention of the provincial vector control program. Since resources available for the vector control agency are frequently scarce, it rarely responds to the request of rural communities after house invasion by adult triatomines. Moreover, on many occasions these house invasions are associated with sylvatic triatomine species with low epidemiological importance, and therefore spraying is not done. This lack of response to the community request discourages systematic reports and reduces the chances of detecting house invasion by *T. infestans*, the species with the highest epidemiological importance for the transmission of *T. cruzi* in the area.

The invasion of rural houses by wild triatomines with lower epidemiological importance than *T. infestans* is a frequent event during the beginning of the warm season. As they are easily confused with *T. infestans*, teaching the rural communities to differentiate the main triatomine species present in the area might improve the vigilance system of Chagas disease.

Acknowledgments

We thank Miguel Garlati, Eduardo Gallardo and the technicians of the Programa Provincial de Chagas de La Rioja (Argentina). We thank S. Catalá, L. Abraham, M.L. Hernández, and the communities of Rosario Vera Peñaloza, Ángel Vicente Peñaloza, and San Martín that participated in the study. We thank the suggestions of two anonymous reviewers that improved an earlier version of the manuscript. This research received financial support from Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica

(PICT 2012 2883) and the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) of Argentina.

REFERENCES CITED

- Abad-Franch, F., M.C. Vega, M.S. Rolón, W.S. Santos, and A. Rojas de Arias. 2011. Community participation in Chagas disease vector surveillance: systematic review. *PloS. Negl. Trop. Dis.* 5, e1207.
- Abraham, L.B., D.E. Gorla, and S.S. Catalá. 2011. Dispersal of *Triatoma infestans* and other Triatominae species in the arid Chaco of Argentina: Flying, walking or passive carriage? The importance of walking females. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 106: 232-239.
- Bar, M.E., E.B. Oscherov, and M.P. Damborsky. 1993. Presencia de *Triatoma sordida* Stål, 1859 en ecotopos urbanos de la ciudad de Corrientes, Argentina. *Rev. Saúde Públ.* 27: 117-122.
- Bar, M.E., M.P. Damborsky, E.B. Oscherov, A.M.F. Milano, G. Avalos, and C. Wisnivesky-Colli. 2002. Triatomines involved in domestic and wild *Trypanosoma cruzi* transmission in Concepción, Corrientes, Argentina. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 97: 43-46.
- Brewer, M., N. Arguello, M. Delfino, and D.E. Gorla. 1978. Parasitismo natural de *Telenomus fariai* Costa Lima 1927 (Hym.: Scelionidae) en monte y presencia de *Proanastatus excavatus* De Santis 1952 (Hym.: Eupelmidae) parasitoides oófagos de Triatominae en Cruz del Eje, Córdoba Argentina. *Ann. Soc. Entomol. Bras.* 7: 141-154.
- Canale, D.M., M.C. Cecere, R. Chuit, and R.E. Gürtler. 2000. Peridomestic distribution of *Triatoma garciabesi* and *Triatoma guasayana* in north-west Argentina. *Med. Vet. Entomol.* 14: 383-390.
- Ceballos, L.A., M.V. Cardinal, G.M. Vazquez-Prokopec, M.A. Lauricella, M.M. Orozco, R. Cortinas, A.G. Schijman, M.J. Levin, U. Kitron, and R.E. Gürtler. 2006. Long-term reduction of *Trypanosoma cruzi* infection in sylvatic mammals following deforestation and sustained vector surveillance in northwestern Argentina. *Acta Trop.* 98: 286-296.
- Cecere, M.C., G.M. Vazquez-Prokopec, R.E. Gürtler, and U. Kitron. 2004. Spatio-temporal analysis of reinfestation by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) following insecticide spraying in a rural community in northwestern Argentina. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 71: 803-810.
- Cecere, M.C., M.V. Cardinal, J.P. Arrabal, C. Moreno, and R.E. Gürtler. 2015. *Microcavia australis* (Caviidae, Rodentia), a new highly competent host of *Trypanosoma cruzi* I in rural communities of northwestern Argentina. *Acta Trop.* 142: 34-40.
- Chavez, P.S. Jr. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sens. of Environ.* 24: 459-479.
- Gorla, D.E., X. Porcasi, H. Hrellac, and S.S. Catalá. 2009. Spatial stratification of house infestation by *Triatoma infestans* in La Rioja (Argentina). *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 80: 405-409.
- Gorla D.E. and F. Noireau. 2010. Geographic distribution of Triatominae vectors in America. In: J. Telleria and M. Tibayrenc (eds.), *American Trypanosomiasis: Chagas Disease - One Hundred Years of Research*. pp. 209-233. Elsevier,

- Burlington.
- Kulldorff, M.A. 1997. Spatial scan statistic. *Commun. Stat-Theor.* M 26: 1481-1496.
- Lent, H. and P. Wygodzinsky. 1979. Revision of the Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) and their significance as vectors of Chagas disease. *Bull. Am. Museum Nat. Hist.* 163: 127-520.
- Marti, G.A., M.G. Echeverria, E. Waleckx, M. Susevich, A. Balsalobre, and D.E. Gorla. 2014. Triatominae in furnariid nests of the Argentine Gran Chaco. *J. Vector Ecol.* 39: 66-71.
- Noireau, F. and J.P. Dujardin. 2001. Flight and nutritional status of sylvatic *Triatoma sordida* and *Triatoma guasayana*. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 96: 385-389.
- Noireau, F., P. Diosque, and A.M. Jansen. 2009. *Trypanosoma cruzi*: adaptation to its vectors and its hosts. *Vet. Res.* 40: 1-23.
- Patterson, J.S., S.S. Barbosa, and M.D. Feliciangeli. 2009. On the genus *Panstrongylus* Berg 1879: evolution, ecology and epidemiological significance. *Acta Trop.* 110: 187-199.
- Porcasi, X., H. Hrellac, S.S. Catalá, M. Moreno, L. Abraham, M.L. Hernández, and D.E. Gorla. 2007. Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* in the region of Los Llanos (La Rioja, Argentina). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 102: 63-68.
- Schofield, C.J., J. Jannin, and R. Salvatella. 2006. The future of Chagas disease control. *Trends Parasitol.* 22: 583-588.
- Vazquez-Prokopec, G.M., L.A. Ceballos, U. Kitron, and R.E. Gürtler. 2004. Active dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Triatominae) in rural northwestern Argentina. *J. Med. Entomol.* 41: 614-621.
- Wisnivesky-Colli, C., R.E. Gürtler, N.D. Solarz, N.J. Schweigmann, S.M. Pietrokovsky, A. Alberti, and J. Flo. 1993. Dispersive flight and house invasion by *Triatoma guasayana* and *Triatoma sordida* in Argentina. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 88: 27-32.

RESEARCH ARTICLE

Rural houses infestation by *Triatoma infestans* in northwestern Argentina: Vector control in a high spatial heterogeneous infestation area

María José Cavallo^{1‡a*}, Ivana Amelotti^{1,2‡a‡b}, Luciana Abrahan^{1‡a}, Gerardo Cueto^{3‡c}, David E. Gorla^{4‡d}

1 Entomología Médica, Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia La Rioja, UNLAR, SEGEMAR, UNCa, CONICET, Anillaco, La Rioja, Argentina, **2** Universidad Nacional de La Rioja, La Rioja, Argentina, **3** Instituto de Ecología, Genética y Evolución, Buenos Aires, Argentina, **4** Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich, CONAE-Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

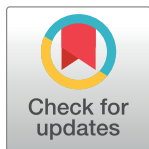
‡a Current address: Mendoza y Entre Ríos, S/N, Anillaco, La Rioja, Argentina

‡b Current address: Avda. Luis M. de la Fuente S/N, La Rioja, Argentina

‡c Current address: Intendete Guiraldes 2160, Ciudad Universitaria, Pab. 2 Piso 4, lab 104, Mexico City, Mexico

‡d Current address: Falda de Cañete, Córdoba, Argentina

* mariajosecavallo@hotmail.com



OPEN ACCESS

Citation: Cavallo MJ, Amelotti I, Abrahan L, Cueto G, Gorla DE (2018) Rural houses infestation by *Triatoma infestans* in northwestern Argentina: Vector control in a high spatial heterogeneous infestation area. PLoS ONE 13(8): e0201391. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391>

Editor: Sebastien Gourbiere, Universite de Perpignan, FRANCE

Received: January 19, 2018

Accepted: July 13, 2018

Published: August 2, 2018

Copyright: © 2018 Cavallo et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All raw data files are available from the OSF HOME database (accession number (osf.io/3wesck) 2018, June 26). https://osf.io/3wesck/?view_only=395bdec190274c5c9e4e013ac2c324be.

Funding: This work was supported by Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, PICT 1109-2012.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

Abstract

Triatoma infestans (Hemiptera: Reduviidae) is a vector of the *Trypanosoma cruzi* parasite, causative agent of Chagas disease. During the last decade, vector control activities have been systematically carried out in northwestern Argentina, an endemic region for this disease. The general aim of this study to evaluate was spatio-temporal variation of infestation by *T. infestans* in rural communities of Los Llanos in La Rioja province. We estimated house infestation using two sampling methods: passive and active. Passive collection was conducted with community participation collecting triatomines. Six passive collections were carried out in 397 houses during the warm season between 2014 and 2017. Active collection of *T. infestans* was thoroughly performed by trained staff for 60 minutes and was carried out once in March 2016. The estimate of intradomestic infestation did not show significant differences between both collection methods ($p = 0.39$). However, passive collection method had lower sensitivity than active collection method for the estimation of peridomestic infestation and intradomestic colonization (PDI: $p < 0.01$; ID colonization: $p < 0.01$). The results obtained with passive collection methods showed that the infestation in the study area was spatially heterogeneous and temporally variable. Intradomestic infestation decreased over time (14.4% to 7.9%, $p < 0.05$) although the effect of the chemical treatment application was not associated with the infestation level of *T. infestans* ($p = 0.15$) and the Departments had a different response each year ($p < 0.01$). A high infestation cluster was located in the south of our study area during 2016–2017. The vector presence in the houses confirms the importance of to improve entomological surveillance programs. The search for triatomines carried out by the inhabitants might be a useful method to complement the activities of vector control programs in isolated and rural areas.

Introduction

Triatomines are haematophagous insects that act as vectors of *Trypanosoma cruzi*, the causative agent of Chagas disease [1]. Although considerable progress has been made in the control of this disease, it is still a major public health concern in Latin America [2]. In these areas, environmental and bio-socio-cultural factors favor the persistence of triatomine populations, allowing recolonization of domiciles even after vector control interventions with insecticide spraying [3, 4]. Among these factors, favorable climate conditions (warm temperature and low rainfall), high phenotypic plasticity and the capacity to adapt to different micro-geographic conditions favor the development of *Triatoma infestans* populations [5, 6]. In addition, these areas have a subsistence economy, with domestic animals (mainly goats and chickens) living in the immediate surroundings of the houses [7]. The fact that triatomine bugs frequently feed on these animals [8] increases the risk of *T. cruzi* vectorial transmission.

Insecticide based control of domestic vector populations still remains the core tool for prevention of new vectorial cases of Chagas disease [9, 10]. Trained teams of the “Programa Provincial Chagas de La Rioja (PPCHLR)” carry out periodic entomological evaluations within the houses and surrounding structures (corrals, coops and deposits), applying chemical interventions when needed. Within La Rioja, the high *T. infestans* infestation of rural houses in the region of Los Llanos is well known for the early work by Soler, during the 1950s [11]. The latest survey published, which collected data of over 5,045 houses in the area between 2004 and 2007, reported a 37% of house infestation (intradomestic and peridomestic infestation), after decades of non-systematic vector surveillance and control. In addition, a high spatial heterogeneity in *T. infestans* distribution has been reported specifically for this region, with highly infested localities concentrated in some areas [12]. In those regions it is necessary a fully operational long-term entomological surveillance system since, even after systematic control activities, residual house infestation is frequent [13].

Intra and peridomestic infestation by *T. infestans* is routinely estimated using an active fixed-time collection by trained staff of the vector control programs, sometimes using an irritant dislodging agent. Although adopted by all triatomine vector control programs in Latin America by the 1980s, it is well known that the active search has poor sensitivity when vector density is low, and its reliability depends upon the experience of collectors [14, 15]. Alternatively, it has been proposed that a more active involvement of the communities would be more suitable for rural and dispersed areas [16–18]. Passive collection implements the participation of the householders in the collection of triatomines and it has been used in a number of studies to estimate the levels of domestic infestation [14, 15, 17–19]. The advantage of this method is the relatively constant surveillance that the residents carried out for several days, increasing sensitivity [20], in particular, when the inhabitants are reluctant to allow the control team to search inside their houses.

Since the last report based on data from 2007 data on house infestation by *T. infestans* in rural communities of La Rioja [12], a number of changes occurred in the area, including the systematic operation of a provincial vector control program and the partial replacement of the traditional adobe-walled houses, which favors the presence of triatomines [21], by newer ones. For this reason, it is necessary to verify if the systematic interventions carried out during the last decade in Los Llanos region successfully controlled the vector.

In this context, the main objectives of our study were: 1) to compare active and passive collection methods to estimate the levels of *T. infestans* house infestation in rural communities of Los Llanos (La Rioja, Argentina), 2) to analyze the temporal variation (2014–2017) and spatial distribution of house infestation and 3) to identify high infestation areas within the study

region. Altogether, this information would help the design novel and more cost-effective interventions for the sustainable control of Chagas disease and its vectors.

Methods

Study area

The study was carried out between 2014 and 2017 over 397 houses randomly selected in the provincial departments which showed the highest house infestation by *T. infestans* according to the latest study in the area [12]. The houses included in the study are located in the southern region of Los Llanos (La Rioja province, Argentina, (31° 21'S, 66° 35'W)) and distributed along 72 rural localities in three departments (San Martín (SM), Rosario Vera Peñaloza (RVP) and Ángel Vicente Peñaloza (AVP)). Houses were extracted from the database built from 2005 by PPCHLR which georeferenced and identified all rural houses of La Rioja with an individual code engraved on a small metal plate attached to the front wall of each house. This georeferenced database allows an individual follow-up of the entomological condition and vector control intervention. Localities were defined as a group of houses separated at least two kilometers. The number of houses per locality varies in the area and 76.4% of them have six or fewer houses. This field study did not involve vertebrates and endangered or protected species. No specific permissions were required for our area or the activities developed in this work.

House infestation by *Triatoma infestans*

House infestation was evaluated using passive and active collection methods. The collection method was defined as “passive” when the householders monitored house infestation. To this end, inhabitants of the selected houses received a detailed explanation of the study and were invited to participate. Inhabitants that accepted the invitation were trained in triatomine identification and careful collection to avoid the risk of accidental infection. Each participating family received two plastic bags labeled with the house identification code, one bag to collect triatomines inside the house and one to collect them in the peridomestic structures. Each passive collection lasted two weeks (between delivery and collection of the plastic bags). The passive collections were performed six times over three years, during spring (November 2014, 2015 and 2016) and summer (February 2015, 2016 and 2017). The number of houses assessed in each survey varied according to the year and season (from 256 to 341 houses) due to the fact that houses were closed during entomology evaluation or heavy rains that isolated the area.

The collection method was defined as “active” when a trained staff (a researcher and a PPCHLR technician) searched thoroughly for 15 minutes within the house and 15 minutes in peridomestic structures using an irritant dislodging agent (tetramethrin 0.2%, Espacial[®]). The active collection was conducted once in March 2016 in 78 houses evaluated with both methods (between February and March 2016). House selection was stratified for active sampling, considering the number of dwellings in each locality. Results obtained with both methods are considered independent because the people who performed the active collection did not know the previous infestation status of each house. However, this selection might be doubly biased since the same householders who accepted to collect triatomines in their home also enabled the active search. For this reason, the rates obtained over this sub-sample were only used to compare the collection methods. During the study period, the PPCHLR applied residual insecticide spraying in 121 of the 397 houses identified as infested during 2014 and 2015.

All triatomines were labeled in the field and then, in the laboratory, they were identified and quantified by species and developmental stage [22]. Rectal material of *T. infestans* specimens was analyzed under a microscope at 400x to detect the presence of *Trypanosoma cruzi*.

Data analysis

A rural house was recorded as “infested” when at least one *T. infestans* individual was found in the house, without distinguishing whether the individual was an adult or a nymph. Additionally, a house was recorded as “colonized” when at least one 3rd, 4th or 5th *T. infestans* instar nymph was found in the house. According to the type of methodology carried out in this research and due to the fact that adult females frequently laid eggs in the bags after being collected, the presence of 1st and 2nd stage nymphs was not taken into account. We considered infestation or colonization in the intradomicile (IDI, IDC) or in the peridomicile (PDI, PDC) when it was recorded inside the house or in the nearby associated structures respectively (goat corrals, chicken coops, storerooms, etc). The percentages of infested houses and colonized houses were calculated over the total evaluated houses and expressed as “house infestation” and “house colonization” respectively. The statistical analysis was made with R statistical software (v. 3.4.3). The 95% confidence interval was fitted using the “binom.test” function to perform the exact test.

For the comparison of passive and active collection methods in order to estimate house infestation, we used Odds Ratio (OR) test and the Cohen’s kappa Index [23–25]. We used the active collection method as the reference method to compare with the performance of the passive collection method. Besides Cohen’s kappa, we calculated the sensitivity (proportion of infested houses identified by active collection method) and the specificity (percentage of uninfested houses identified by active collection method) [25]. To compare the infestation at departmental and locality levels and its variation over time, annual data obtained by passive collection were aggregated within each warm season (from November to February in two consecutive years): Year 1 (2014–2015), Year 2 (2015–2016) and Year 3 (2016–2017). To model changes in *T. infestans* infestation among year, season and department, a Generalized estimating Equation (GEE) was fitted using function `geeglm` function from package `geepack` [26] in the R statistical software (v. 3.4.3) [27]. Presence/absence of *T. infestans* in each house was included as the response variable (with a binomial error distribution and logit link function) while “year” (year1, year2 and year3), “season” (spring (November) and summer (February)) and “department” (SM, RVP and AVP) and their interactions were included as fixed factors. To control for possible differences generated by various intervals since the last chemical treatment (between 2 and 133 months), this was included as a covariable. This covariable was centered at the mean (average time of the last chemical treatment in the whole area) to improve the interpretation of model coefficients. Thus, the effects of the remaining variables were analyzed in groups of houses with the same previous treatment interval. A first order-autoregressive correlation structure was added to account for the non-independence among the repeated observations for the same house. Non-significant interactions were removed, one at a time from higher to lower levels, to reduce the number of parameters to be estimated. Mean comparisons were performed by Tukey’s method using `emmeans` package [28].

Using the locality as the unit of analysis, a spatial scan statistic with a Poisson model was used to detect clusters (groups of localities geographically aggregated and with higher or lower infestation compared with the regional average). This analysis was performed using SaTScan v. 9.4.4.

Results

During the study period, and combining the results of passive and active methods, we collected a total of 1395 *T. infestans* individuals. Five from the 912 individuals, which had enough blood to detect the presence of *T. cruzi* under microscope were infected with the parasite (4 adults and one 5th instar nymph) (S1 Table). House infestation (IDI + PDI) estimated by passive

Table 1. Infestation and colonization by *Triatoma infestans* estimated by passive collection in Los Llanos, La Rioja.

Date	Evaluated houses	House infestation % (CI95)	IDI% (CI95)	PDI% (CI95)	IC % (CI95)	SD
Nov2014	341	21.4 (17.2–26.1)	14.4 (10.8–18.5)	3.5 (1.8–6.1)	3.2 (1.6–5.7)	5.6
Feb2015	256	13.7 (9.7–18.5)	6.6 (3.9–10.4)	3.9 (1.9–7.1)	0.6 (0.1–2.1)	5.1
Nov2015	322	14.3 (10.7–18.6)	8.4 (5.6–12.0)	2.2 (0.9–4.4)	1.2 (0.3–3.2)	8.4
Feb2016	320	10.9 (7.7–14.9)	3.4 (1.7–6.2)	4.1 (2.2–6.8)	1.5 (0.5–3.4)	6.3
Nov2016	291	13.7 (10.0–18.2)	6.5 (4.0–10.0)	2.1 (0.8–4.4)	0.3 (7e-3–1.6)	4.8
Feb2017	289	11.1 (7.7–15.3)	7.9 (5.1–11.7)	3.1 (1.4–5.8)	2.6 (1.2–5.0)	0

Data correspond to six sampling periods from 2014 to 2017. IDI, percentage of intradomestic infestation; PDI, percentage of peridomestic infestation; IC, percentage of intradomestic colonization. CI, 95% confidence intervals are given in brackets. Evaluated houses are the number of houses that returned collection bags; House infestation is the percentage of houses that returned collection bags with at least one *T. infestans*; Intradomestic colonization is the percentage of houses that returned collection bags with with 3rd, 4th or 5th *T. infestans* instar nymphs. SD: Triatomines collection place (intra o peridomestic) is unknown.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391.t001>

collection was 43.8% (174/397) and house colonization was 12.1% (48/397) at least once between November 2014 and February 2017 (Table 1). Most insects collected by passive collection method were adults (67.7%) and most insects collected by active method were nymphs (70.4%). Regarding the infested houses, up to 17 intradomestic specimens were found in a single house (being 2 specimens per house the most frequent number).

House infestation (IDI + PDI) estimated by active collection was higher than the estimated by passive collection (Table 2). For active collection methods, the PDI was higher than the IDI (64.1% (50/78 houses) vs. 20.5% (16/78), $p < 0.01$). House colonization was almost seven times higher when it was estimated by active collection compared to passive collection (60.3 vs. 8.9% respectively). When householders did not indicate the collection place of the triatomines (intra or peridomestic) the data were not considered in the analyses. When discriminating the number of *T. infestans* collected by active method per ID and PD structures, the highest abundances were showed in PD structures that included chicken coops, goat corrals and store-rooms. Storerooms, dog houses and hen nests showed the highest average abundances (Table 3).

The agreement between the estimates using passive and active collection methods varied with the type of parameter considered. The concordance using the Kappa index of IDI (when given positive by the two methods) was 42.2 (Table 2). Intradomestic infestation showed no significant differences when it was estimated by active or passive collection methods (OR = 0.63, 95% IC = 0.27–1.48, $\chi^2 = 0.7$, df = 1, $p = 0.4$). However, peridomestic infestation and intradomestic colonization showed a significant underestimation by the passive method (PDI: OR = 0.11, 95% IC = 0.05–0.24, $\chi^2 = 34.5$, df = 1, $p < 0.01$; ID colonization: OR = 0.07,

Table 2. Comparative statistics of estimated parameters of intra and peridomestic infestation and colonization between active (March 2016) and passive (February 2016) collection methods (n = 78 houses).

	IDI%	PDI%	IDC%
Active collection method (CI)	20.5 (11.5–29.5)	64.1 (53.5–74.7)	60.3 (49.4–71.1)
Passive collection method (CI)	14.1 (6.4–21.8)	16.7 (8.4–25.0)	8.9 (2.6–15.3)
Kappa (Standard error)	42.2 (1.6)	20.1 (1.1)	7.8 (1.1)
Sensitivity	43.7	26	12.8
Specificity	93.5	100	96.8

IDI, Intradomestic infestation; PDI, Peridomestic infestation; IDC, Intradomestic colonization; CI, 95% Confidence Interval. Active search is used as the reference for sensitivity and specificity.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391.t002>

Table 3. Number of *Triatoma infestans* collected in intradomestic and peridomestic structures using active collection methods (March 2016).

Structure type	No. of evaluated structures	Abundance of <i>T. infestans</i>	Mean abundance per habitat (minimum and maximum values)
Chicken coops	26	220	8.46 (2–39)
Goat corrals	30	186	6.2 (1–94)
Storerooms	12	133	11.08 (4–28)
Hen nests	4	58	14.5 (8–15)
Dog houses	3	38	12.67 (12–14)
Houses	16	22	1.38 (1–7)
Pigeon houses	1	5	5

Abundance is the total number of individuals collected in each structure type from of 78 evaluated houses.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391.t003>

95% IC = 0.02–0.16, $\chi^2 = 43.1$, $df = 1$, $p < 0.01$). The sensitivity was higher for the IDI than for PDI and more than 93% of the houses reported uninfested by householders were corroborated for active collection method, showing the passive collection method a high specificity (Table 2, S2 Table).

At the locality level, 94.4% of the localities showed house infestation at least once within the 3-year period. Among the 72 studied localities, 23 showed an IDI higher than 50%, with many of them remaining positive over the whole study period (Fig 1). Infestation by *T. infestans* during the study period was associated with the "month", "department", "year" and "interaction between year and department". A higher infestation was found at the beginning of the warm season (November) ($p < 0.01$) (Table 4). At the department level, the lowest average infestation (PD+ID) was in AVP, with a significant tendency to decrease during the three years of study, starting with 15% of houses infested. However, the department had a different response in each year, RVP and SM showed an average house infestation of 18.5% during the studied period, although it showed a significant decrease in SM and an increase in the third year in RVP (Fig 2). The time since the last chemical treatment for each house it was not associated with *T. infestans* infestation ($p = 0.15$) (Table 4, S3 Table).

The results of the spatial scan statistic discriminated by year showed that the IDI at the locality level in the study area was spatially heterogeneous and temporally variable. Years 1 and 2 showed no evidence of spatial aggregation, but two geographic clusters were detected during Year 3, when the total average ID infestation in the whole study area was 10.2%. One cluster included 113 houses in five localities within the AVP department (radius: 24.9 km centered at 30.65° S, 66.67° W) showed no house infestation (Relative risk = 0; $p < 0.001$) (Fig 3A). The second cluster included 161 houses in 43 localities. It showed an intradomestic infestation of 19.9% (Relative risk = 5.7; $p < 0.001$) and had a radius of 41.4 km, centered at 31.58° S, 66.51° W. This cluster consisted of localities from SM and RVP departments (Fig 3A). When analyzing the spatial heterogeneity using only the localities included in RVP and SM, it was found a cluster of high infestation with an IDI of 48% (Relative risk = 4.04; $p = 0.035$) which included 25 houses in seven localities within a radius of 19.6 km, centered at 31.66° S, 66.20° W (Fig 3B).

Discussion

For the first time, house infestation by *T. infestans* in northwestern Argentina (Los Llanos, La Rioja) was estimated with rural community participation in a spatially heterogeneous infestation area. Additionally, the passive collection performed by householders was useful in providing a thorough record of other triatomine native species (e.g. *T. garciabesi*, *T. guasayana*, *T. platensis*), which in general cannot be obtained with the active collection method [29].

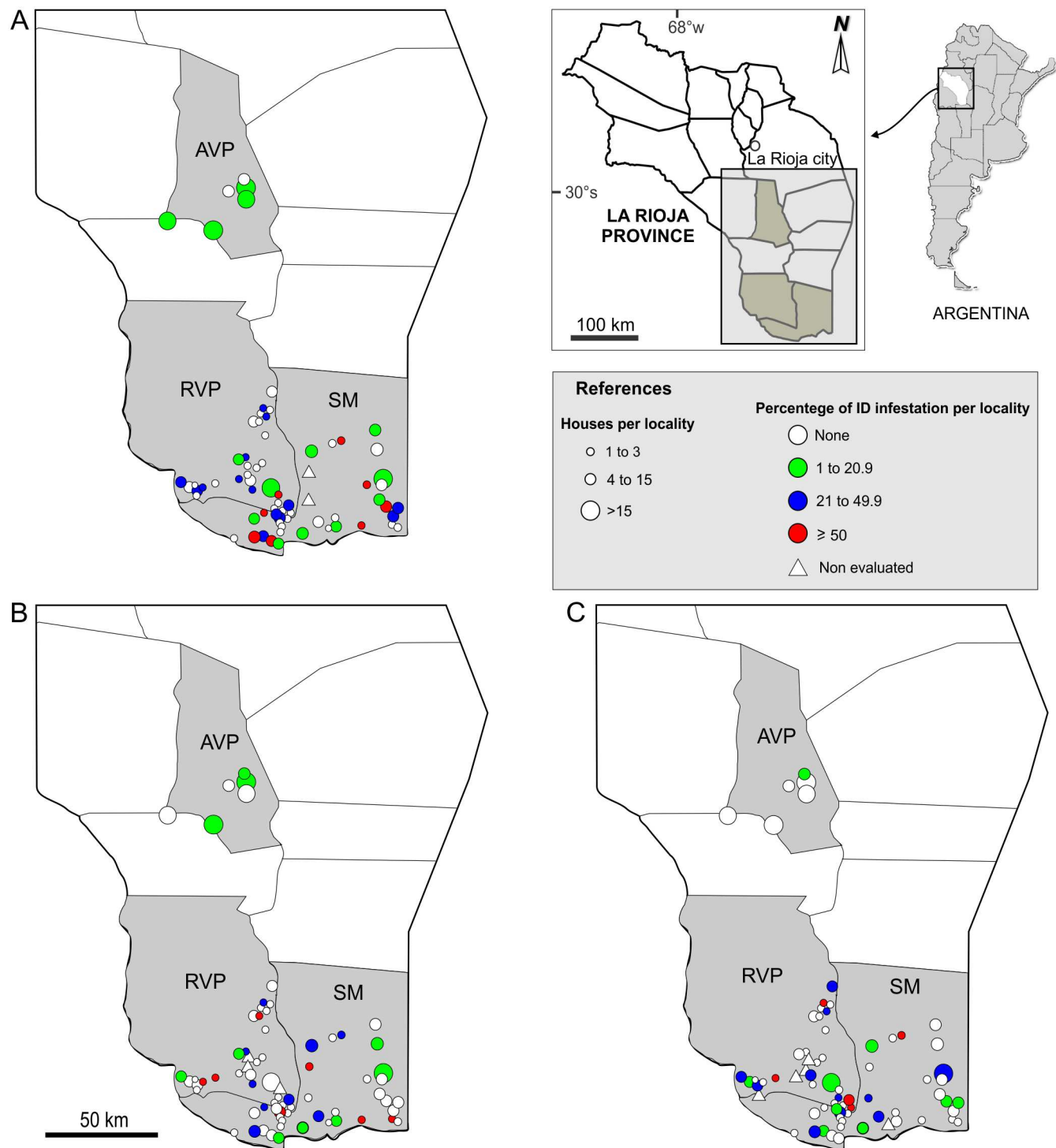


Fig 1. Variation over three years of the intradomestic infestation by *Triatoma infestans* estimated by passive collection in three departments of Los Llanos, La Rioja. (A) Year 1 (data November 2014 and February 2015). (B) Year 2 (data November 2015 and February 2016). (C) Year 3 (data November 2016 and February 2017). Grey shadows indicate the evaluated departments: AVP, Ángel Vicente Peñaloza Department; RVP, Rosario Vera Peñaloza Department; SM, San Martín Department.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391.g001>

Table 4. Wald chi-square tests for sequentially adding terms to the Generalized estimating Equation (GEE) for infestation by *Triatoma infestans*.

Factor	House infestation		
	Degree of freedom	χ^2	$p(> \text{Chi}(\chi^2))$
Year	2	7.74	0.0209*
Department	2	25.07	3.6e-06*
Season	1	9.05	0.0026*
Trult.c	1	2.07	0.1507
Year:Department	4	27.18	1.8e-05*

*, Overall significance level $p < 0.05$; Trult.c, time since the last chemical treatment for each house (centered at the mean).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391.t004>

Our study shows that the estimation of intradomestic infestation by passive collection was similar to active search. However, these results could probably be doubly biased since the same householders who accepted to collect the triatomines in their home also enabled the active search [30]. The main difference in the estimation of house infestation between both collection methods was the low sensitivity of passive collection to detect intradomestic colonization and peridomestic infestation. In intradomiciles, colonization estimates by passive collection showed that most of the collected insects were adults, easier to visualize for the householders. In contrast, the trained team who carried out the active collection is capable to visualize all the development stages. In peridomiciles, the estimation of infestation was lower by passive collection because householders probably spend more time in intradomiciles doing their day-by-day activities than in the peridomestic structures. Nevertheless, in active collection method, the search time in each place is standardized. Although the capture effort between collection methods used in this work was different, our result contrasts with previous reports showing that passive collection of *T. infestans* was more sensitive than the active search [15, 18, 20]. Moreover, other studies performed using active collection reported that corrals were the most important peridomiciles for *T. infestans* development [31, 32], while in our study, hen nests, dog houses and storerooms showed the highest average abundance of triatomines.

At season level, in November (Spring), house infestation by *T. infestans* was higher than in February (Summer). These results differ from empiric models which predict that the spread *T. infestans* is likely to take place at the end of summer [33]. In the present work, there was a decrease in house infestation during the study period, except in RVP department where isolated rural localities exist (lower number of houses per locality). Previous studies in the same area, showed that house infestation was inversely correlated with the number of houses in each locality [12]. Our data show that the chemical treatments carried out by the PPCHLR in this area during the study period have no effect on house infestation.

House infestation considered at departmental and locality levels, was spatially heterogeneous and temporally variable. Spatial aggregation of house infestation was not detected during the first two years of the study, but it did show up during the third year of sampling (2016–2017), when a cluster of high house infestation was detected in the southern extreme of the sampled area. The detected cluster is centered 25 km from the cluster of high domestic infestation previously reported in the same area [12], suggesting the presence of an unresolved focus of house infestation. The temporal variability of the vector presence reinforces the importance of continuity of the surveillance and control programs.

A decade-long follow up of house infestation based on data produced by the PPCHLR showed that 53.7% of the houses in the same region were infested during 2004–2005 (35.6%

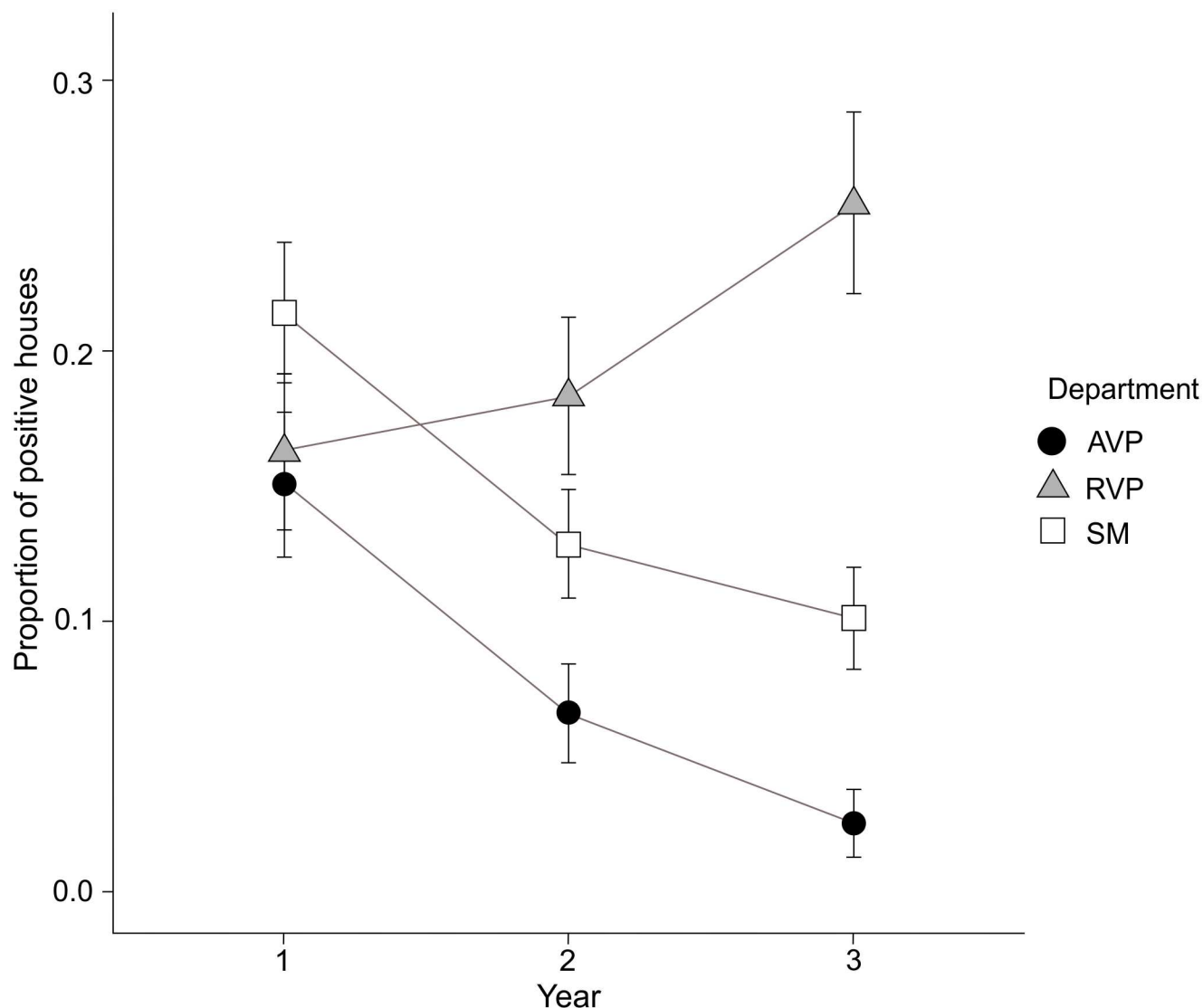


Fig 2. Temporal variation of infestation by *Triatoma infestans* estimated by passive collection in each department. AVP, Ángel Vicente Peñaloza Department; RVP, Rosario Vera Peñaloza Department; SM, San Martín Department. Lines over the bars are standard deviations. Year 1 (data November 2014 and February 2015). Year 2 (data November 2015 and February 2016). Year 3 (data November 2016 and February 2017).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391.g002>

IDI and 43.8% PDI) [32]. A decade later (2014–2015), it was reported that house infestation was 10.3% for the IDI and 33.1% for the PDI (PPCHLR, unpublished data).

During this decade, the evaluated house coverage has been highly heterogeneous (PPCHLR, unpublished data). Not all localities were visited each year, and the average visit frequency to each house was once every three years. The low frequency of house evaluation added to the low effectiveness of insecticide spraying in peridomestic structures [34], undermined a sustained success of the PPCHLR. Although the activities of the decade-long vector control program carried out in Los Llanos decreased house infestation by *T. infestans* in an endemic area, this infestation was not eliminated, even when old and precarious rural houses were partially replaced. In addition, the collection of *T. infestans* infected with *T. cruzi* using both methods inside the houses reflects the risk of vector transmission of Chagas disease. The data presented

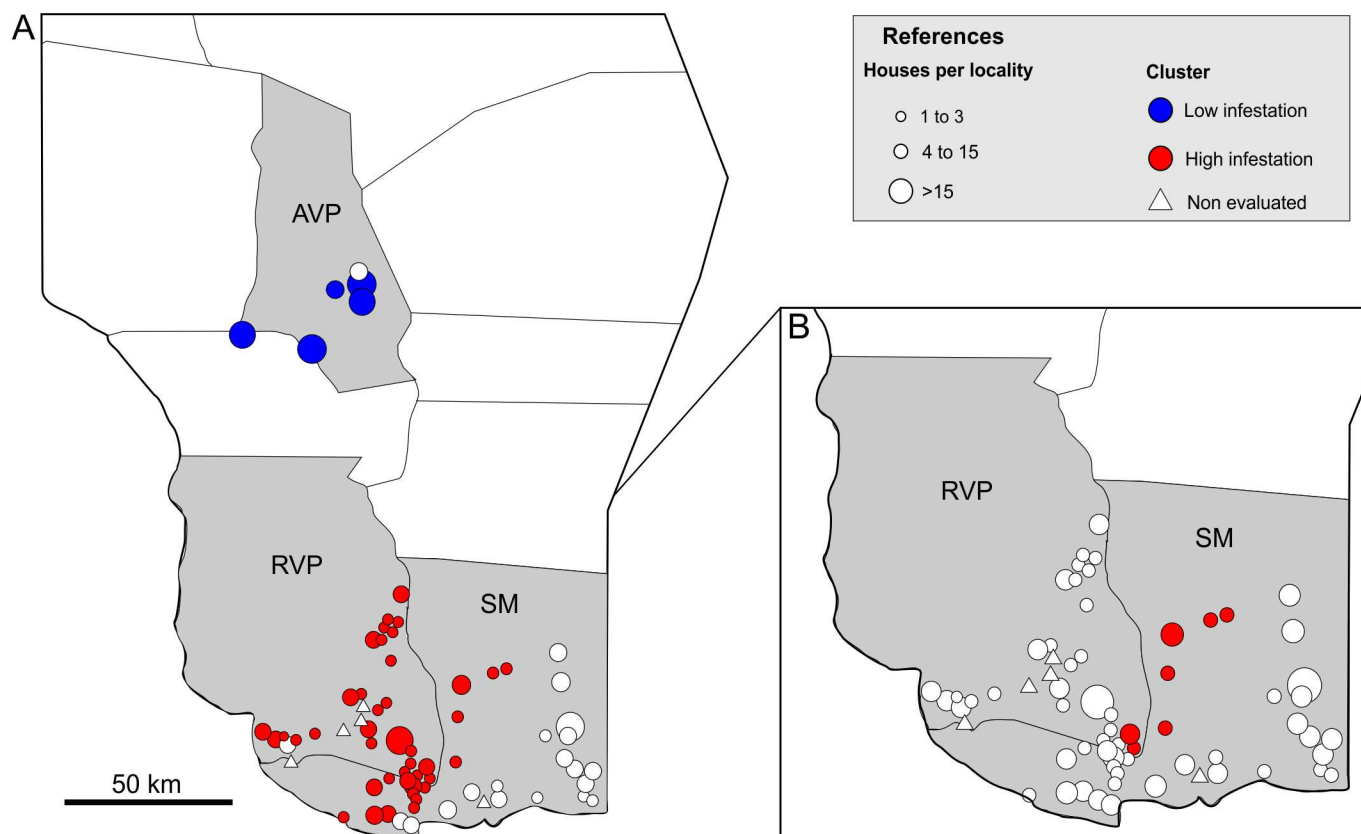


Fig 3. Spatial distribution of high and low intradomestic infestation clusters of rural localities in the study area. High and low intradomestic infestation aggregations (red and blue, respectively). AVP, Ángel Vicente Peñaloza Department; RVP, Rosario Vera Peñaloza Department; SM, San Martín Department. A. Clusters within AVP, SM and RVP localities. B. Clusters within SM and RVP localities.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201391.g003>

in this work are lower compared to the situation in other areas [35–37], however, it is necessary to increase efforts to eliminate infected insects from homes.

Under this scenario, novel approaches for vector control programs and more cost-effective interventions to improve the sustainable control is needed. For this reason, the present study showed the advantage-disadvantage of the local community involvement. As repeatedly shown in many studies [15, 18, 19, 38–43], entomological surveillance carried out with the community participation in intradomiciles may promote earlier detection of vector infestation.

The estimation of intradomestic infestation by passive collection was as sensitive as by active search in intradomiciles and this method could be an important benefit for the country's health system due to its cost-effectiveness. Future studies are necessary to analyze the difference in costs between active and passive collection methods. Moreover, in this study, passive search was useful to identify house infestation at a department and locality levels as well as to follow its variation over time. An important limitation to the success of this approach is that a commitment of health system is necessary to give a timely response and intervention when householders report that a house is infested in ID. The health system should guarantee the chemical treatment of house infestation by *T. infestans*. Otherwise, it will not be possible to maintain entomological surveillance by the householders over a long period of time.

As a conclusion, we propose that passive collection in conjunction with the traditional active search might significantly increase triatomine detection in the intradomestic environment, thus increasing the efficacy of *T. infestans* control.

Supporting information

S1 Table. *Triatoma infestans* bugs infected with *Trypanozoma cruzi* collected by two different collection methods in Los Llanos (La Rioja, Argentina) 2014–2017.

(DOC)

S2 Table. Contingency table of passive and active collection method on the houses evaluated by both collection methods (n = 78).

(DOC)

S3 Table. Parameter estimates of generalized estimation (GEE) equation models for *T. infestans* infestation.

(DOC)

Acknowledgments

We thank M. Garlati, C. Nieto, E. Gallardo, J. Barros and the technicians of the Programa Provincial Chagas La Rioja (Argentina). We thank S. Catalá, M. Hernandez., P. Lopez for collaborating in the field and laboratory activities. We thank L. Fiorelli for the design of figures, A. Aranda for advice and comments and the communities of Rosario Vera Peñaloza, Angel Vicente Peñaloza and San Martín for their support during the study. MJ Cavallo, I Amelotti, L Abrahan, G Cueto and DE Gorla are members of CONICET (Argentina).

Author Contributions

Conceptualization: María José Cavallo, Ivana Amelotti, David E. Gorla.

Data curation: María José Cavallo, Ivana Amelotti.

Formal analysis: María José Cavallo, Ivana Amelotti, Gerardo Cueto, David E. Gorla.

Funding acquisition: David E. Gorla.

Investigation: María José Cavallo, Ivana Amelotti, Luciana Abrahan, David E. Gorla.

Methodology: María José Cavallo, Ivana Amelotti, Gerardo Cueto, David E. Gorla.

Project administration: David E. Gorla.

Resources: David E. Gorla.

Software: María José Cavallo, Ivana Amelotti, Gerardo Cueto, David E. Gorla.

Supervision: David E. Gorla.

Validation: Luciana Abrahan, David E. Gorla.

Visualization: Luciana Abrahan, David E. Gorla.

Writing – original draft: María José Cavallo, Ivana Amelotti, Gerardo Cueto, David E. Gorla.

Writing – review & editing: Luciana Abrahan, David E. Gorla.

References

1. WHO. Chagas disease (American trypanosomiasis). Fact Sheet, updated March 2017. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/en/>. Accessed April 2018.
2. Chatelain E. Chagas disease research and development: Is there light at the end of the tunnel? Comput Struct Biotechnol J. 2017; 15: 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2016.12.002> PMID: 28066534
3. Gürtler R, Kitron U, Cecere M, Segura E, Cohen J. Sustainable vector control and management of Chagas disease in the Gran Chaco, Argentina. Proc Natl Acad Sci USA. 2007; 104: 16194–9. <https://doi.org/10.1073/pnas.0700863104> PMID: 17913895
4. Gorla D, Ponce C, Dujardin J, Schofield C. Control Strategies Against Triatominae. In: Telleria J, Tibayrenc M, editors. American Trypanosomiasis Chagas Disease One Hundred Years of Research. 2010; pp. 233–245.
5. Hernández M, Abrahan L, Dujardin J, Gorla D, Catala S. Phenotypic Variability and Population Structure of Peridomestic *Triatoma infestans* in Rural Areas of the Arid Chaco (Western Argentina): Spatial Influence of Macro- and Microhabitats. Vector Borne Zoonotic Dis. 2011; 11 (5): 503–13. <https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0253> PMID: 20925525
6. Abrahan L, Hernández L, Gorla D, Catalá S. Phenotypic diversity of *Triatoma infestans* at the microgeographic level in the Gran Chaco of Argentina and the Andean valleys of Bolivia. J Med Entomology. 2008; 45 (4): 660–6.
7. Gaspe MS, Provecho YM, Cardinal MV, Del Pilar Fernández M, Gürtler RE. Ecological and Socio-demographic Determinants of House Infestation by *Triatoma infestans* in Indigenous Communities of the Argentine Chaco. PLoS Negl Trop Dis. 2015; 9 (3): e000361
8. Gorla D, Abrahan L, Hernández ML, Porcasi X, Hrellac H, Carrizo H, et al. New structures for goat corrals to control peridomestic populations of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in the Gran Chaco of Argentina. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2013; 108 (3): 352–8.
9. Castillo-Riquelme M, Guhl F, Turriago B, Pinto N, Rosas F, Martínez MF, et al. The Costs of Preventing and Treating Chagas Disease in Colombia. PLoS Negl Trop Dis. 2008; 2 (11): e336 <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000336> PMID: 19015725
10. Coura J, Dias J. Epidemiology, control and surveillance of Chagas disease: 100 years after its discovery. Mem Inst Oswaldo Cruz. 2009; 104(Suppl 1): 31–40.
11. Soler C. Campaña piloto de erradicación de la vinchuca. Villa Mazán, 1st ed. La Rioja: Subsecretaría de Salud Pública. 1958.
12. Gorla D, Porcasi X, Hrellac H, Catalá S. Spatial stratification of house infestation by *Triatoma infestans* in La Rioja, Argentina. Trans R Soc Trop Med Hyg. 2009; 80 (3): 405–9.
13. Espinoza N, Borrás R, Abad-Franch F. Chagas Disease Vector Control in a Hyperendemic Setting: The First 11 Years of Intervention in Cochabamba, Bolivia. PLoS Negl Trop Dis. 2014; 8(4): e2782. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002782> PMID: 24699407
14. Gürtler R, Cecere M, Canale D, Castanera M, Chuit R, Cohen JE. Monitoring house reinfestation by vectors of Chagas disease: A comparative trial of detection methods during a four-year follow-up. Acta Trop. 1999; 72: 213–34. PMID: 10206120
15. Feliciangeli D, Hernández M, Suarez B, Martínez C, Bravo A, Bracho J, et al. Comparación de métodos de captura intradomestica de triatomíneos vectores de la enfermedad de Chagas en Venezuela. B Malarial Salud Amb 2007; 47: 103–18.
16. Vazquez-Prokopec GM, Spillmann C, Zaidenberg M, Kitron U, Gürtler RE. Cost-Effectiveness of Chagas Disease Vector Control Strategies in Northwestern Argentina. PLoS Negl Trop Dis. 2009; 3(1): e363. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000363> PMID: 19156190
17. Bryan R, Balderrama F, Tonn R, Dias J. Community participation in vector control: Lessons from Chagas' disease. Trans R Soc Trop Med Hyg 1994; 50: 61–71.
18. Abad-Franch F, Vega M, Rolón M, Santos W, Rojas de Arias A. Community Participation in Chagas Disease Vector Surveillance: Systematic Review. PLoS Negl Trop Dis. 2011; 5 (6): e1207. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001207> PMID: 21713022
19. Segura EL, Esquivel ML, Salomon O, Gomez AO, Sosa Estani S, Luna CA, et al. Community participation in the National Program for Transmission Control of Chagas Disease. Medicina (B Aires) 1994; 54: 610–611.
20. Dumonteil E, Ramirez-Sierra M, Ferral J, Euan-Garcia M, Chavez-Nuñez L. Usefulness of community participation for the fine temporal monitoring of house infestation by non-domiciliated Triatomines. J Parasitol. 2009; 95(2): 469–471. <https://doi.org/10.1645/GE-1712.1> PMID: 18788882
21. Marsden PD. South American trypanosomiasis (Chagas' disease). Int Rev Trap Med. 1971; 4: 97–121.

22. Lent H, Wygodzinsky P. Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae), and their significance as vector of Chagas disease. Bull Am Mus Nat History. 1979; 163: 123–520.
23. Using R for Biomedical Statistics. <http://a-little-book-of-r-for-biomedical-statistics.readthedocs.io/en/latest/src/biomedicalstats.html>. Accessed June 2018.
24. Renzo A, Carlos J. La concordancia entre dos tests clínicos para casos binarios: problemas y solución. Acta Bioquim Clin L. 2005; 39(4): 435–44.
25. Watson P, Petrie A. Method agreement analysis: a review of correct methodology. Theriogenology. 2010; 73 (9): 1167–1179. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.01.003> PMID: 20138353
26. Højsgaard S, Halekoh U, Yan J. The R Package geepack for Generalized Estimating Equations. J Stat Softw. 2006; 15: 1–11.
27. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. <https://www.R-project.org/>. Accessed June 2018.
28. Russell L. Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. In: R package version 1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>. Accessed June 2018.
29. Cavallo M, Amelotti I, Gorla D. Invasion of rural houses by wild Triatominae in the arid Chaco. J Vector Ecol. 2016; 41 (1): 97–102. <https://doi.org/10.1111/jvec.12199> PMID: 27232130
30. Hong AE, Barbu CM, Small DS, Levy MZ. Mapping the spatial distribution of a disease-transmitting insect in the presence of surveillance error and missing data. J R Stat Soc Ser A Stat. 2015; 178(3): 641–658.
31. Cecere M, Vazquez-Prokopec G, Gürtler R, Kitron U. Reinfestation Sources for Chagas Disease Vector, *Triatoma infestans*, Argentina. Emerg Infect Dis. 2006; 12(7): 1096–1102. <https://doi.org/10.3201/eid1207.051445> PMID: 16836826
32. Porcasi X, Hrellac H, Catalá S, Moreno M, Abraham L, Hernandez ML, et al. Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* in the region of Los Llanos (La Rioja, Argentina). Mem Inst Oswaldo Cruz. 2007; 102 (1): 63–8. PMID: 17294001
33. Vazquez-Prokopec G, Ceballos L, Kitron U, Gürtler R. Active Dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in rural northwestern Argentina. J Med Entomol. 2004; 41(4): 614–21. PMID: 15311452
34. Gürtler R, Canale D, Spillmann C, Stariolo R, Salomón O, Blanco S, et al. Effectiveness of residual spraying of peri-domestic ecotopes with deltamethrin and permethrin on *Triatoma infestans* in rural western Argentina: a district wide randomized trial. Bull World Health Organ. 2004; 82: 196–205. PMID: 15112008
35. Dumonteil E, Gourbière S, Barrera-Pérez M, Rodríguez-Félix E, Ruiz-Piña H, Baños-López O, et al. Geographic distribution of *Triatoma dimidiata* and transmission dynamics of *Trypanosoma cruzi* in the Yucatan peninsula of Mexico. Am.J.Trop.Med.Hyg. 2002; 67: 176–83. PMID: 12389944
36. Ribeiro G Jr., Gurgel-Gonçalves R, Reis RB, dos Santos CG, Amorim A, Andrade SG, Reis MG. Frequent House Invasion of *Trypanosoma cruzi*-Infected Triatomines in a Suburban Area of Brazil. PLoS Negl Trop Dis. 2015; 9(4): e0003678. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003678> PMID: 25909509
37. Acosta N, López E, Lewis M, Llewellyn M, Gómez A, Roman F, Yeo M. Hosts and vectors of *Trypanosoma cruzi* discrete typing units in the Chagas disease endemic region of the Paraguayan Chaco. Parasitology, 2017; 144(7), 884–898. <https://doi.org/10.1017/S0031182016002663> PMID: 28179034
38. Vazquez-Prokopec GM, Spillmann C, Zaidenberg M, Gürtler RE, Kitron U. Spatial Heterogeneity and Risk Maps of Community Infestation by *Triatoma infestans* in Rural Northwestern Argentina. PLoS Negl Trop Dis. 2012; 6(8): e1788. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001788> PMID: 22905276
39. Waleckx E, Camara-Mejia J, Ramirez-Sierra M, Cruz-Chan V, Rosado-Vallado M, Vazquez-Narvaez S, et al. An innovative ecohealth intervention for Chagas disease vector control in Yucatan, Mexico. Trans R Soc Trop Med Hyg. 2015; 109(2):143–9. <https://doi.org/10.1093/trstmh/tru200> PMID: 25604765
40. Lardeux F, Depickere S, Aliaga C, Chavez T, Zambrana L. Experimental control of *Triatoma infestans* in poor rural villages of Bolivia through community participation. Trans R Soc Trop Med Hyg. 2015; 109:150–8. <https://doi.org/10.1093/trstmh/tru205> PMID: 25604766
41. Winch P, Kendall C, Gubler D. Effectiveness of community participation in vector-borne disease control. Health Policy Plan. 1992; 7: 342–351.
42. Espino FE, Koops V, Manderson L. Community participation and tropical disease control in resource-poor settings. World Health Organization. 2004; 2
43. Morgan LM. Community participation in health: perpetual allure, persistent challenge. Health Policy Plan. 2001; 16: 221–230. PMID: 11527862